Pag.	ver.	ERRORI.	CORREZIONI.
82.	n. *a* v. 2.	$\sqrt{5}$ 1 a 2	$\sqrt{5}+1$ a 2
122.	20.	graticola di ferro sul quale	graticola di ferro sulla quale
152.	n. *a*.	$xys+\frac{xya}{s}$	$xys+\frac{3xys}{s}$
ibid.		sarà $\frac{nxya}{s}$	sarà $\frac{3nxys}{3}$
170.	18.	affinità del vapore per essa	affinità del vapore per sa stesso
172.	17.	poll. 27 $\frac{1}{19}$	poll. 27 $\frac{1}{2}$
174.	20.	a misura che questo fluido si scarica	a misnra che questo fluido si carica
193.	2 e 4	diminuita dalla	diminuita della
202.	28.	sopra la molecols	sotto la molecola
213.	13.	$\frac{H\,b}{f\,(x\quad a)}$	$\frac{H\,b}{f\,(x+a)}$
227.	6.	non principia	principia
ibid.	7.	possa abbassarsi	non possa abbassarsi
231.	24.	corriaponde a 3 $\frac{1}{2}$	corrisponde a 3 $\frac{1}{5}$
246.	*nota* 20, v. 5 e 6.	32 pol. a 2 pol. e $\frac{1}{3}$	32 poll. a 2 piedi e $\frac{1}{3}$
251.	*nota a*, v. 10.	$\frac{np}{h-x}x=p$	$\frac{np}{h-x}+x=p$
255.	24.	se non che nell' sspirante	se non che nell' aspirante e premente
279-280.	32.	ac sempre	accordo sempre
287.	28.	proposizione	proporzione
295.	11.	esistenza degli alti	esistenza degli altri
348.	37.	aggiunti ai 116°	aggiunti ai 126°
421.	27.	verità della medesima	verità del medesimo

TRATTATO ELEMENTARE

DI

FISICA

DELL'ABATE HAÜY

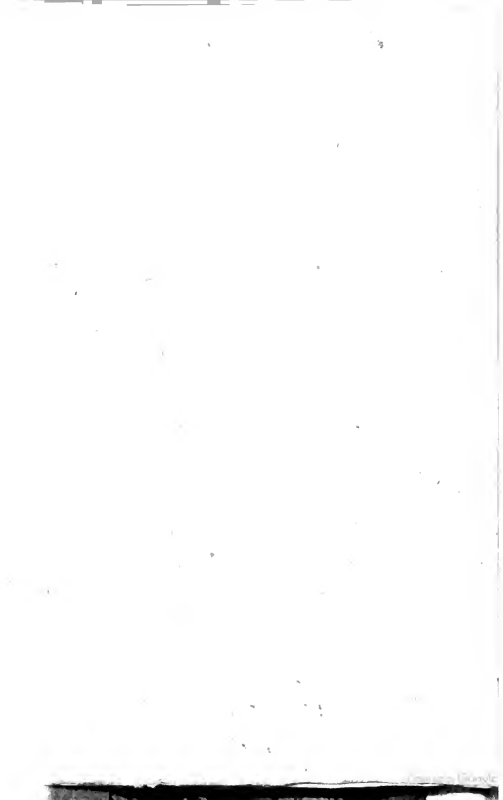
TRADOTTO SULLA TERZA EDIZIONE
COMMENTATO, E ACCRESCIUTO D'UN'INTRODUZIONE
ALLO STUDIO DELLA MECCANICA

DA

EUSEBIO GIORGI

DELLE SCUOLE PIE.

TOMO II.

FIRENZE
PRESSO GUGLIELMO PIATTI
MDCCCXXV.

TRATTATO ELEMENTARE

DI

FISICA.

VII.

DEL MAGNETISMO.

858. La calamita è stata considerata per molto tempo come una semplice pietra dotata della proprietà di attrarre il ferro, e nel linguaggio volgare si chiama tuttora *pietra di calamita*, denominazione dedotta forse dalle particelle pietrose che son sempre, benchè accidentalmente, mescolate con essa.

859. Gli antichi non solamente conoscevano la forza attrattiva della calamita sul ferro, ma avevano osservato ancora che essa comunicava al ferro medesimo la proprietà di attrarne un altro. Frattanto, quantunque la calamita eccitasse moltissimo la curiosità degli osservatori con questa specie di simpatia per il ferro, niuno aveva rilevata la sua proprietà principale e più importante, cioè che con una delle sue estremità si volta sempre verso il Sud, e con l'altra verso il Nord. Tale scoperta sembra che sia stata fatta verso il dodicesimo secolo, ma resta tuttora incerto presso qual popolo ciò sia accadnto.

860. Nelle prime teorie del magnetismo si trovano quelle idee sistematiche che regnavano allora tra i fisici; e poichè Cartesio aveva sedotti gli spiriti con i suoi vortici, in modo che tutto si voleva spiegare per mezzo di essi, si vollero pure per mezzo di essi spiegare i fenomeni magnetici, come in egual modo si eran voluti spiegare i fenomeni elettrici. A queste idee fu sostituita in seguito l'idea di semplici effluvii di materia magnetica, le molecole della quale o si attaccavano o si allontanavano fra loro, secondo il modo con cui si incontravano gli effluvii di due calamite: quindi fu riguardato il ferro

come dotato d'una specie di piccoli poli, che facevano le veci di altrettante valvule, le quali lasciavano passare o respingevano il fluido, secondo il modo con cui si presentava ad esse. In tal maniera fra gli altri pensava Dufay, il quale dopo aver veduto l'elettricismo in un vero aspetto, quando volle spiegare i fenomeni magnetici non fece che inventare una macchina a capriccio, in vece di ravvisare il vero meccanismo della natura.

861. Per spiegare questi fenomeni, Epino è stato il primo a servirsi di semplici forze calcolabili; e tal' idea gli venne in mente nella circostanza di tener fra mano una tormalina. Aveva conosciuto che l'elettricismo era la causa degli effetti che produceva questa pietra, e aveva osservato che essa da una parte respingeva, e dall'altra attraeva corpi elettrizzati; e quindi dette a queste due parti il nome di *poli*, parola che forse non poteva essere che un'espressione di comodo, ma che per lui divenne la vera espressione. Vide egli nella tormalina una specie di calamita elettrica; e paragonando i fenomeni delle vere calamite con quelli dei corpi isolatori, trovò che le azioni dei due fluidi potevano assoggettarsi alla stessa legge; e così oltre ad aver perfezionata la teoria dell'elettricismo, e creata per così dire quella del magnetismo, ebbe ancora il merito di riunire questi due grandi anelli della catena delle nostre cognizioni.

Coulomb, dacchè aveva intrapreso a sviluppare dopo Epino la prima di queste teorie, aveva in certo modo contratto l'impegno di perfezionar la seconda, lo che eseguì realmente, come vedremo nell'esporre i suoi resultamenti in questo genere.

1. PRINCIPII GENERALI DELLA TEORIA DEL MAGNETISMO.

862. Quantunque il fluido elettrico e il fluido magnetico sieno soggetti alle stesse leggi, nondimeno scorgiamo fra l'uno e l'altro una diversità di natura. Se si presenta una tormalina elettrizzata ad un ago calamitato sospeso liberamente, qualunque sieno i poli reciprocamente opposti di questi due corpi, la tormalina non esercita sull'ago se non una semplice azione attrattiva, come l'eserciterebbe sopra qualunque altro corpo; dal che si rileva che essa produce nell'ago stesso una virtù elettrica indipendente dalla virtù magnetica.

863. Per l'analogia che passa fra questa teoria e quella dell'elettricismo, considereremo ancora il fluido magnetico come composto di due fluidi particolari, combinati fra loro nel ferro che non dà verun segno di magnetismo, e sviluppati in quello che è passato allo stato di calamita. Le molecole di ciascun fluido si respingono egualmente fra loro, e attraggono

quelle dell'altro fluido; e Coulomb ha provato, come vedremo fra poco, che queste diverse azioni seguono la ragione inversa del quadrato della distanza (64).

864. Tutto il fluido naturale di un corpo magnetico, ancora dopo essere stato scomposto, resta nell'interno di questo corpo, e sotto questo aspetto le calamite possono rassomigliarsi ai corpi isolatori (§. 647). I due fluidi sciolti dalla loro combinazione vanno con moti contrarii verso le estremità della calamita, di dove esercitano azioni analoghe a quelle dell'elettricismo vitreo e del resinoso. Ma prima di proseguire osserveremo in generale il magnetismo considerato in tutta la sua estensione, onde riesca più chiara la spiegazione della teoria.

865. Tutti i fenomeni che osserviamo nelle calamite sulle quali facciamo le nostre esperienze, non sono per così dire se non apparenze diverse di un fatto fondamentale che è stato osservato da gran tempo; cioè se si presenti successivamente un'estremità di una calamita alle due estremità d'un'altra, accaderà attrazione da una parte, e repulsione dall'altra fra le due calamite; e l'estremità opposta della prima produrrà effetti inversi su quelle della seconda. In generale in ciascuna calamita esistono due punti opposti chiamati poli, che esercitano azioni contrarie. Per conoscere l'energia di queste azioni, basta far muovere una calamita in presenza di un ago magnetico sospeso liberamente, nel qual caso le estremità di questo ago, faranno diversi giri, e qualche volta una rivoluzione intera, per secondare la propria tendenza verso l'equilibrio.

866. Ora il globo terrestre opera relativamente ad un ago calamitato come la sopraccitata calamita, il qual fenomeno è singolare per la sua continuità, e per l'immensità delle distanze alle quali si estende; sicchè l'ago abbandonato alla forza di questo vasto corpo magnetico prende una direzione dal Nord al Sud, direzione conforme a quella di questa medesima forza. Ed è inutile allontanarlo da tal direzione, facendogli fare persino una mezza rivoluzione intorno al centro; poichè esso, reso libero, torna costantemente alla sua prima situazione, e le sue oscillazioni che sembrano presentare l'idea dell'incostanza terminano col ritorno

(64) Ancor qui si potrà facilmente ridurre all'idea d'un solo fluido la spiegazione dei fenomeni magnetici, giacchè la contrarietà degli effetti non ha bisogno neppur qui dell'ammissione di due cause, quando una causa sola, come nei fenomeni elettrici, basta a spiegarla. Ciò apparirà ancor più probabile in seguito, e specialmente quando parleremo del modo con cui il fluido magnetico si distribuisce in una calamita. V. §. 894, n. 67.

dell'ago alla primitiva sua direzione(65). Cosa avrebbero pensato gli antichi filosofi, che supponevano animata la calamita, quantunque non ne conoscessero che l'azione a contatto, se fosse loro venuto in mente di sospendere ad un filo uno di questi corpi?

867. Tutto questo ci porta ad un'osservazione che ci sembra importante, sulla maniera di nominare i due fluidi che compongono il fluido magnetico, e nel tempo stesso i poli o i due punti di ciascuna calamita, che sono i centri delle loro azioni. Col solo enunciare tal ipotesi relativa all'esistenza di questi fluidi, chiaramente si comprende che le repulsioni magnetiche, simili in questo alle repulsioni elettriche, sono effetti di quella repulsione che esiste fra i fluidi omogenei; e che le attrazioni derivano da quelle che esercitano l'uno sull'altro i fluidi eterogenei. Quindi quando un ago magnetico è nella sua direzione naturale, quello dei suoi poli che è voltato verso il Nord, è nello stato contrario a quello del polo del nostro globo che è dalla stessa parte; e poichè questo deve essere il vero polo Nord relativamente al magnetismo, come è relativamente ai quattro punti cardinali, sembra più conveniente chiamare col nome di *polo australe* l'estremità dell'ago voltata verso il Nord, e di *polo boreale* l'estremità opposta. Adotteremo dunque queste denominazioni già usate in Inghilterra, e quindi chiameremo *fluido australe* quello che risiede nella parte dell'ago più vicina al Nord, e *fluido boreale* quello della parte situata verso Mezzogiorno.

868. Abbiamo già veduto che accaderebbe lo stesso relativamente al magnetismo che all'elettricismo, se non esistessero in natura che corpi perfettamente isolatori. Ciascuna calamita non ha mai se non la sua quantità naturale di fluido la quale è sempre costante, sicchè nè può riceverne da altra parte veruna quantità addizionale, nè cederne parte di quello che naturalmente possiede; e quindi il passaggio allo stato di magnetismo dipende unicamente dallo sprigionamento dei due fluidi che

(65) Dall'esaminare che l'ago magnetico tolto dalla sua natural direzione, vi ritorna con la massima forza e rapidità quando ne è stato allontanato per 90°, e che prima o dopo di questo punto vi torna con una forza sempre minore, il Prof. Gazzeri pensò che vi dovesse essere un punto in cui questa forza dovesse ridursi a zero, e tal punto non poteva essere che alle estremità del diametro. Verificò questo suo sospetto col fatto, di cui io stesso fui testimone, e che ho poi più volte ripetuto con egual successo. Posto un ago magnetico in una situazione diametralmente opposta alla sua situazion naturale, al che si giunge con un poco di pazienza, l'ago vi resta finchè il minimo moto non lo disturba, e in tal caso torna subito alla situazione primitiva. Questo fatto, bene esaminato, potrebbe forse suggerire la spiegazione d'una gran parte dei fenomeni magnetici. *Antolog.* T. III.

compongono il fluido naturale, e dal loro trasporto verso le parti opposte del ferro.

869. Questi due fluidi provano, nel muoversi a traverso i pori del ferro, una difficoltà tanto maggiore quanto è più duro il metallo; e in generale questa difficoltà è sempre considerevole, e molto maggiore della resistenza che i corpi stessi più perfettamente isolatori oppongono al moto interno dei fluidi sviluppati dal loro fluido naturale. Coulomb ha chiamata questa forza *forza coibente* come quella che opera nei corpi isolatori (§. 647).

2. DELLA LEGGE CHE SEGUONO LE AZIONI MAGNETICHE, IN RAGIONE DELLA DISTANZA.

Non poteva stabilirsi una teoria dei fenomeni magnetici, senza aver prima determinata la legge alla quale, a diverse distanze, son soggette le forze che operano in questi fenomeni; e quei fisici che avevan tentato di indagar questa legge si eran serviti di mezzi così imperfetti, che non fa maraviglia se i resultamenti che ne hanno ottenuti sono sì poco concordi fra loro e con la vera legge (*a*).

870. I metodi usati da Coulomb per determinar questa legge son tanto precisi, che non lasciano più verun dubbio che essa non segua la ragione inversa del quadrato della distanza, egualmente che quella legge che regola le azioni elettriche (§. 609): se non che per conoscere il modo con cui il fluido era distribuito nei corpi che si sottoponevano all' esperienza, erano necessarie alcune particolari considerazioni, giacchè questi corpi avevano due centri d'azione che erano in due stati opposti, mentre i corpi elettrici, che avevan servito a ricerche tendenti a un simile scopo, non operavano se non in forza di un solo elettricismo, per lo che potevano riguardarsi tutte le forze come riunite in un sol centro d'azione (§. 41). Per ora diremo soltanto che in una calamita i due centri d'azione sono a una piccola distanza dalle estremità.

871. Coulomb è giunto con due metodi diversi allo scopo che si era proposto. Il primo consisteva nel far oscillare un piccolo ago di 27 millimetri ossia un pollice di lunghezza, in faccia al centro d'azione inferiore d'un filo d'acciaio calamitato, lungo circa 6$^{dec.}$, 8 ossia 25 pollici, posto verticalmente nel piano del meridiano magnetico.

Se astragghiamo per un momento dal centro superiore d'azione,

(*a*) *Expér. phys.-mécan. sur differens sujets*, *trad. de l'anglais* ec. *Paris* 1754 t. II, p. 547 e seg.

dobbiam figurarci che l'ago, mentre fa le sue oscillazioni, risente l'effetto di due forze, una delle quali è nel centro d'azione inferiore del filo d'acciaio, e l'altra è la forza che il globo esercita sull'ago: questa forza quando opera sola sopra un ago allontanato dal suo meridiano magnetico, produce su questo ago un altro effetto, cioè un moto d'oscillazione. Coulomb prima dell'esperienza aveva riconosciuto, che l'ago lasciato alla sola sua forza naturale faceva 15 oscillazioni in 60 secondi; ma relativamente a questo ago accade lo stesso che relativamente ad un pendolo, il quale oscilla in virtù della sua gravità. Si prova che l'azione di questa forza per far oscillare un pendolo, è proporzionale al quadrato del numero di oscillazioni fatte in un dato tempo, che si prende per unità. Così in questa ipotesi, in cui l'ago è mosso nel tempo stesso dalla sua forza naturale e da quella del filo d'acciaio, si trova il valore di quest'ultima sottraendo il quadrato di 15 da quello del numero di oscillazioni fatte dall'ago in 60 secondi.

Perchè l'esperienze fossero precise, bisognava inoltre determinar la distanza da cui si supponeva che il filo d'acciaio operasse sull'ago. Ma vedremo in seguito che quest'azione dipende da due forze, ciascuna delle quali opera sopra uno dei poli dell'ago, e ciascuna cospira per imprimergli uno stesso moto; e poichè l'ago era cortissimo, sicchè le distanze dei suoi poli dal centro d'azione del filo d'acciaio eran ben poco diverse l'una dall'altra, si poteva senza errore sensibile considerare il mezzo di questo ago come la distanza media fra quelle sulle quali operavano le due azioni, e precisamente per rapporto a questo punto si trattava di valutare la forza del filo, in presenza del quale l'ago oscillava.

872. Rischiariamo con un esempio quanto abbiamo detto su questo proposito. L'ago, posto primieramente in modo che il suo centro d'azione era distante dal filo d'acciaio 108 millimetri ossia 4 pollici, fece 41 oscillazioni in un minuto: posto quindi a una distanza doppia, non fece che 24 oscillazioni in un minuto: dunque le forze totali che influivano sull'ago in queste due situazioni erano fra loro come il quadrato di 41 al quadrato di 24, o :: 1681 : 576. Se da ciascuno di questi numeri si toglie 225, quadrato di 15, il rapporto fra le forze del filo d'acciaio sarà di 1456 : 351, rapporto poco diverso di quello di 4 : 1 (*a*): e

(*a*) La differenza 13 che si trova fra 351 e il quarto di 1456, cioè 364, non è notabile se non perchè cade sui quadrati dei numeri d'oscillazioni fatte dall'ago; sicchè la differenza corrispondente, relativamente a questi ultimi numeri, non è che una frazione dell'unità. Se si supponga per esempio che l'ago nella sua seconda situazione faccia 24 $\frac{1}{4}$ oscillazioni, in vece di 351 avremo il numero 363, più una frazione, il che è molto prossimo a 364.

poichè le distanze corrispondenti sono fra loro come 1 : 2, si concluderà che le forze sono in ragione inversa del quadrato delle distanze.

Frattanto il numero d' oscillazioni fatte in 60 minuti secondi non dava sempre esattamente la quantità dell'azione esercitata dal filo d'acciaio; e tal esattezza non appariva se non fin tanto che l'ago era a distanze così piccole dal filo d'acciaio, da potersi trascurare la forza del polo superiore di questo filo, che allora era diretto per una linea poco lontana dalla verticale, e che dall'altra parte esercitava la sua azione da una distanza assai maggiore che il polo inferiore. Ma quando l'ago era più lontano dal filo d'acciaio, la porzione di forza decomposta che era in direzione orizzontale, cioè nella direzione dell'azione del polo inferiore, diveniva più considerevole relativamente alla forza di questo medesimo polo; e quindi si trovava con la maggior precisione possibile la legge cercata, facendo soltanto la piccola correzione che richiedeva questa forza.

873. L'altro metodo era analogo a quello di cui si era servito Coulomb stesso relativamente all'elettricismo. Riduceva egli la bilancia elettrica a bilancia magnetica, ponendo un lungo ago calamitato in vece della leva sospesa al filo metallico, e sostituendo alla palla di rame un ago simile posto verticalmente sul meridiano magnetico, cioè su quello che coincide con la direzione naturale dell'ago. Ed era tale la disposizione dei due aghi fra loro, che quando quello che era mobile arrivava a toccar l'altro, conservandosi in una situazione quasi orizzontale, il contatto accadeva fra uno dei centri d'azione del primo e il centro inferiore del secondo.

La tendenza naturale dell'ago a tornare nel suo meridiano magnetico, era qui pure un'azione particolare che si componeva delle azioni reciproche dei due aghi, e si cercava di trovare il rapporto di queste azioni medesime, sciogliendole da tal combinazione. Per ottener questo intento, Coulomb paragonò primieramente la prima forza sola con la forza di torsione, e trovò che torcendo il filo metallico a cui era sospeso l'ago mobile, a un angolo primieramente di 35°, l'ago si allontanava 1° dal suo meridiano magnetico; e quindi torcendo il filo ad angoli che fossero successivamente doppi, tripli, quadrupli, ec., di 35°, l'ago si fermava alla distanza di 2°, di 4°, ec. dal suo meridiano magnetico; e quindi da ciascuna tensione così prodotta togliendo il numero di gradi che dava la distanza dell'ago dal meridiano, cioè la quantità di cui si era torto il filo in conseguenza del moto dell'ago, si trovava che la forza dell'ago per opporsi a ciascuna torsione, equivaleva a 35° di torsione tante volte, quanti gradi eran compresi nell'arco che misurava la distanza dell'ago dal meridiano.

874. Ciò premesso, per render più chiaro il metodo usato da Coulomb, esporremo qui una delle sue esperienze. Sia *o* (*fig* 1) la situazione del polo inferiore dell'ago fisso, che supporremo essere il polo *Sud*: questo ago essendo situato verticalmente nel piano del suo meridiano magnetico, Coulomb mette in contatto con questo polo quello dello stesso nome *s* dell'ago mobile *sn*, in modo che il filo metallico non abbia veruna torsione: subito l'ago fisso respinge l'ago mobile a una distanza di 24 gradi, dimanierachè questo prende la situazione *s'n'*.

Ma la tendenza a tornare al meridiano opera in senso contrario al moto che ha fatto l'ago mobile, e quindi essa diminuisce altrettanto la vera repulsione, ossia quella che accaderebbe se questa tendenza non esistesse; cioè questa fa le veci della forza di torsione che dovrebbe aggiungersi a quella di 24°, per conservar l'ago alla stessa distanza in virtù della sola repulsione. Ma quando l'ago è distante 24° dal meridiano, la torsione che misura la tendenza che esso ha a tornarvi è eguale a 35 volte 24°, ossia 840°: dunque la repulsione che dovea valutarsi, equivaleva ad una torsione di 840° più 24°, ossia 864°.

In questo stato di cose, Coulomb dà al filo metallico una nuova torsione eguale a tre circonferenze di circolo, in parte contraria al moto di 24° già fatto dall'ago sospeso al filo, cioè nella direzione *bod*, e in tal caso questo ago si avvicina 17° all'ago fisso, prendendo la situazione *s''n''*. Ora tre volte 360° fanno 1080°; e poichè questa torsione non è che una continuazione di quella che già esisteva (*a*), e che si trova ridotta a 17°, avremo 1097° per la torsione che misura la forza repulsiva scambievole dei due aghi, meno la tendenza a tornare al meridiano. Ma questa tendenza equivaleva ad una forza di torsione di 17 volte 35°, ossia di 595°; dunque aggiungendo 595° a 1097°, la somma 1692° indicherà la torsione che fa equilibrio alla repulsione che doveva valutarsi.

Quindi è che le due repulsioni sono fra loro come 864 : 1692, cioè in un rapporto quasi eguale di 1 : 2: ma le distanze corrispondenti erano 24 e 17, dunque i quadrati 576 e 289 son quasi come 2 : 1; dal che si vede che le repulsioni magnetiche seguono la ragione inversa del quadrato delle distanze.

Abbiamo scelti per esempii i resultamenti che conducono ai più

(*a*) Se la torsione fosse prodotta da un moto impresso immediatamente all'ago mobile, è chiaro che per continuare a torcere il filo bisognerebbe far girare questo ago nella direzione del suo primo moto in un' arco di 24°. Ma poichè la torsione opera dall'estremità superiore del filo in forza della rotazione impressa alla verga che tien sospeso il filo stesso, è chiaro che per proseguire a torcere questo filo bisogna far girare la verga in parte contraria al moto che la dirigeva in basso.

semplici rapporti; ma l'esperienza ha provato che la legge delle repulsioni era costante, qualunque fosse il rapporto fra le distanze, e si sono ottenuti resultamenti analoghi, sostituendo l'attrazione alla repulsione.

3. DELLE ATTRAZIONI E REPULSIONI MAGNETICHE.

875. Possiamo ora spiegare i fenomeni prodotti dalle calamite in virtù delle loro azioni scambievoli. La maggior parte di queste spiegazioni non sono, per così dire, se non la traduzione di quelle che abbiamo date (§. 682) degli effetti osservati nei corpi isolatori, che sono in parte in stato vitreo e in parte in stato resinoso, e particolarmente nelle tormaline. Possiamo ancora supporre che il fluido boreale di una calamita faccia le veci del fluido vitreo della tormalina, e che il fluido australe sia l'analogo magnetico del fluido resinoso; e tutto ciò che abbiamo detto della tormalina, si applicherà naturalmente alla calamita. In tal modo il ravvicinamento dei fenomeni che appartengono a questi due rami di cognizioni, si trova limitato a quelli in cui ciascun corpo ha soltanto la sua quantità naturale di fluido, il quale può bensì esser decomposto, ma non accresciuto mai nè scemato. Che se questa proprietà del fluido magnetico di restare costantemente imprigionato nell'interno del ferro, senza apparire all'esterno, non promette fenomeni tanto singolari quanto quelli prodotti dall'elettricismo, ne presenta però alcuni che meritano l'attenzione e lo studio degli osservatori; giacchè quanto più una cagione sembra che tenda a restare occulta, tanto fa maggiormente spiccare l'ingegno di coloro che ne hanno potuto conoscere il meccanismo.

Equilibrio di due pezzi di ferro nello stato naturale.

876. Quando due pezzi di ferro A e B, l'uno in presenza dell'altro sono nello stato naturale, il loro equilibrio, egualmente che quello dei corpi che non danno verun segno d'elettricismo, dipende da quattro forze che si distruggono scambievolmente. Limitandoci a considerar queste forze nel corpo A, perchè qualunque azione è reciproca, dobbiamo pensare che il fluido di questo corpo opera per attrazione sul fluido boreale di B, e per repulsione sul suo fluido australe; e che dall'altra parte il fluido boreale di A opera per attrazione sul fluido australe di B, e per repulsione sul fluido boreale. Con un raziocinio simile a quello che facemmo (§. 661) relativamente alle azioni elettriche, si proverebbe che queste quattro forze sono eguali fra loro; e poichè esistono due attrazioni e due repulsioni, ne segue che tutte le forze sono in equilibrio.

Azione scambievole di due calamite.

877. Abbiamo veduto (§. 682) che quando due corpi idioelettrici hanno le loro parti in stati opposti, quando sono in presenza l'uno dell'altro si attraggono fra loro dalle parti elettrizzate diversamente, e si respingono dalle parti similmente elettrizzate. Così se due calamite M, N (*fig.* 2) son poste in modo che il polo boreale B di M sia voltato verso il polo australe *a* di N, il fluido boreale, per esempio, di B essendo a una minor distanza dalla calamita N del fluido australe di A, potremo considerare la calamita M come se fosse tutta intera in stato boreale, in virtù di una forza B' eguale alla differenza fra le forze di A e di B; e poichè la forza B attrae più potentemente il fluido australe del polo *a* che il fluido boreale di *b*, il quale è più lontano dalla calamita M, l' attrazione sarà superiore: e se le due calamite possono muoversi liberamente si avvicineranno fra loro fino al contatto e resteranno adese l'una all'altra; e se all'opposto il polo *b* fosse voltato verso il polo B (*fig.* 3), facendo lo stesso raziocinio con una semplice inversione di vocaboli, apparisce chiaro che le due calamite si respingeranno; e lo stesso accaderà se si supponga che le due calamite voltino l'una verso l'altra i loro poli A, *a* rivestiti del fluido australe. In generale due calamite si attraggono per i loro poli di diverso nome, e si respingono per i loro poli di nome eguale.

878. È facile verificare questi diversi resultamenti con un'esperienza notissima, cioè presentando ad un ago magnetico, mobile sopra un pernio, una sbarra calamitata, variando la situazione di questa in modo da produrre successivamente le attrazioni e le repulsioni che dipendono dai poli che si presentano all'ago stesso (*a*). Per compir l'esperienza si porti la sbarra dietro all'ago da una parte o dall'altra e sulla medesima linea di direzione; in tal caso l'ago resterà immobile se i due poli vicini sono di diverso nome; e se sono di egual nome, l'ago farà una mezza rivoluzione intorno al suo centro, e dopo molte oscillazioni si dirigerà in parte contraria alla sua prima situazione. E già vedemmo (§. 753) che due

(*a*) In vece dell'ago si fa uso con buon successo di una piccola sbarra prismatica a basi quadrate, simile a quella di cui si servono i mineralogisti per far esperienze sopra certi pezzi di ferro, nei quali è stato fatto un foro che serve di cappelletto per tenerli liberamente sospesi sopra la punta d'un pernio. In virtù della sua massa questa sbarra non ha quella disposizione che ha l'ago a fare quelle oscillazioni che nuocono tanto all'effetto principale, e si ferma quasi appena posata sul pernio; e i moti che le imprime l'azione della sbarra calamitata che le vien presentata, sono più distinti e più regolari.

tormaline riscaldate, poste in circostanze simili a queste, presentavano fenomeni simili a quelli di questi due corpi magnetici. Nel dimostrare le esperienze delle tormaliue, per lo più siamo soliti farle precedere da quelle delle calamite, di cui son esse come una ripetizione fatta per mezzo d'un fluido diverso, per la qual cosa divengono ancora più importanti.

EFFETTI DELLE AZIONI ELETTRICHE E MAGNETICHE ESERCITATE DA UNO STESSO CORPO.

879. Abbiamo immaginato di riunire in un solo corpo le azioni separate dei due precedenti apparecchi. Per ottener questo intento si colloca un ago di bussola *ab* (*fig.* 4) sopra un pernio, sostenuto da un cannello di cera lacca, e si pone fra un romboide *gl* di spato d'Islanda e un pezzo di ambra *r'* spianata in modo da potersi posare. Questi due corpi sono stati prima elettrizzati per via di confricazione, e son situati in modo che l'ago resta nella direzione del meridiano magnetico (*a*). Se questi medesimi corpi operano secondo le leggi ordinarie, il fluido elettrico naturale dell'ago sarà decomposto: l'ambra attrarrà verso l'estremità dell'ago voltata verso di se il fluido vitreo *v* che si sarà sciolto dalla combinazione, e lo spato d'Islanda attrarrà il fluido resinoso *r*, derivato dalla medesima forza, verso l'estremità opposta alla prima. In questo stato di cose l'ago potrà considerarsi come se avesse due poli magnetici *a*, *b*, e due poli elettrici *r*, *v*, situati negli stessi punti che i precedenti. Frattanto se si presenti successivamente una sbarra calamitata ai poli *a*, *b* dell'ago, essa opererà sopra questo come un corpo magnetico. Se quindi si presenta un cannello di cera lacca elettrizzato per comunicazione, prima al polo *r* e poi al polo *v*, esso respingerà il primo e attrarrà il secondo, come se fosse sparito il magnetismo dell'ago. Se finalmente si sostituisca al cannello di cera un frammento di spato d'Islanda o un topazio egualmente confricato, il polo *v* sarà respinto, e il polo *r* sarà attratto.

Poichè i due corpi che in ultimo luogo si presentano all'ago si trovano nelle sfere di attività dell'ambra e del romboide, l'elettricismo di questi tende ad accrescer quello che essi hanno acquistato per via di confricazione, quando è di specie diversa, e a scemarlo quando è della stessa specie. Ma poichè essi sono isolatori, è ben poco sensibile ciò che

(*a*) Si possono indifferentemente disporre questi corpi nel modo indicato dalla figura, in cui *a* e *b* indicano il polo australe e il polo boreale, oppure in un ordine inverso.

l'elettricismo dell' uno guadagna per tale influenza, e quindi possiamo astrarre da questo. Possiamo egualmente trascurare l'effetto delle azioni elettriche che l'ambra e la cera esercitano sulla sbarra considerata come in stato naturale, giacchè esse non impediscono che l'azione magnetica sia predominante.

Questo resultamento sembra opportunissimo per far rilevare la distinzione fra i due fluidi, mostrandoceli in una circostanza in cui le loro molecole dopo essersi sprigionate da quelle d'un medesimo corpo, operano indipendentemente le une dall'altre, come se ognuno di essi esistesse solo nello spazio in cui sono riuniti.

AZIONE D'UNA CALAMITA SUL FERRO IN STATO NATURALE.

880. Figuriamoci che il corpo N (*fig.* 2) sia una sbarra di ferro, la quale essendo in principio nello stato naturale, si trovi posta nella sfera d'attività della calamita M, sicchè questa calamita volti verso la sbarra il suo polo boreale B. La forza B' di questa calamita, eguale all'eccesso della forza di B su quella di A tenderà a scomporre il fluido di N; ed è chiaro che per effetto ne resulterà, che quest' azione attrarrà verso *a* il fluido australe svolto dalla combinazione, e respingerà verso *b* il fluido boreale; cioè la sbarra N acquisterà essa pure la virtù magnetica, sicchè i poli più vicini saranno quelli di nomi diversi, e le due calamite si attrarranno. Resulterà pure lo stesso se si supponga che la sbarra di ferro sia stata presentata alla calamita M del lato opposto, in modo che questa calamita abbia il suo polo australe A voltato verso la sbarra. Da ciò si conclude che quando si pone in presenza d'una calamita una sbarra o un pezzo di ferro qualunque che fosse prima nello stato naturale, l'azione della calamita gli comunica un magnetismo contrario a quello del polo più vicino a questa sbarra, dimanierachè in tal caso v'è sempre attrazione fra i due corpi. Ancora in questo caso il fisico non fa che servirsi del fluido magnetico per imitare un'esperienza elettrica, cioè quella in cui un corpo che è in un certo stato d'elettricismo, fa primieramente uscir l'altro corpo dal suo stato naturale, e quindi lo attrae a se (§. 673) (66).

(66) Relativamente all'elettricismo vedemmo (§. 661, n. 40) che non poteva riguardarsi come un'attrazione l'avvicinamento di due corpi elettrizzati, ma come effetto d'un certo disequilibrio nell'aria, ec.; e potrebbe forse per analogia spiegarsi in simil modo la così detta attrazione magnetica. Che una calamita attragga effettivamente il ferro con una *forza* sua, mal si concepisce: nè il fuoco infatti attrae i corpi leggieri che sono nell'aria, quantunque li vediamo entrare nella porta del cinerario d'un fornello; nè la tromba che si

881. La sbarra che ha ricevuto il magnetismo opera a vicenda sulla calamita che glielo ha comunicato, scomponendo un' altra porzione del fluido naturale di questa calamita, una porzione del quale è attratta verso il polo più vicino della sbarra, e l' altra è respinta verso il polo opposto. Accade con più ragione lo stesso, quando si fa acquistare il magnetismo a una sbarra per mezzo del contatto immediato di un' altra sbarra già calamitata; e ne resulta una specie di paradosso che doveva confonder moltissimo i fisici che ammettevano vortici di effluvii magnetici, cioè una calamita poteva divenire più forte quando appariva di aver ceduto una porzione del fluido nel quale consisteva la sua forza. Per altro questo aumento di forza acquistato dalla calamita, non apparisce se non in quanto che è poco considerevole la forza coibente di essa.

forma talora sul mare ne attrae le acque, non ostante che le vediamo innalzarsi. Se si supponga che il fluido magnetico emani dalla calamita naturalmente, come l' elettrico dai corpi artificialmente elettrizzati, finchè incontrerà materia che lo lasci trapassare, ossia sostanze deferenti, non accaderà verun fenomena: ma se incontri un corpo a traverso del quale non possa passare, questo sarà spinto verso la calamita o da un' aria disequilibrata da una corrente magnetica, o da qualche fluido invisibile che eserciti un' azione su tutti i corpi liberi, azione che diventa effettiva quando cessino o scemino gli ostacoli che ordinariamente le si oppongono. E se quest' ultima idea non è finora dimostrata, non è forse lontana dalla probabilità, e suggerisce almeno l' idea più giusta di sostituire qualche corpo agente ad una *forza* che venga attribuita all' attrazione, ma che ripugna all' inerzia della materia. Infatti, se la calamita opera per attrazione, perchè dopo aver attratto una lastra di ferro non attrae verun altro corpo quantunque leggerissimo, mentre se venga attaccato alla medesima lastra un peso ancora considerevole, la calamita pur lo sostiene? Dunque il ferro è il solo coibente dell' azione magnetica, ossia il solo corpo che possa intercettarla, se non assolutamente, almeno infinitamente più d' ogni altro corpo. In conseguenza pure di questa coibenza deve accadere, che due aghi calamitati, posti in faccia l' uno dell' altro per i loro poli dello stesso nome, restino così senza che apparisca veruna repulsione, sol che si interponga fra loro una lastra di ferro, per piccolissima che sia, e perfino di $\frac{1}{10}$ di linea in quadrato, come per la prima volta verificò il medesimo Profes. Gazzeri, felice nei suoi resultamenti, perchè penetrante nelle sue indagini *Antolog.* T. I, p. 471.

E questa idea del Gazzeri è stata ultimamente verificata da Barlow, il quale dopo aver determinata sopra un bastimento la linea d' attrazione del ferro che fa parte di esso, ha collocato sopra questa linea il centro d' una piccola lastra circolare di ferro, sopra la quale sorge il perno che sostiene l' ago magnetico, il quale per questa disposizione reso insensibile all' azione del ferro contenuto nel bastimento, indica il vero meridiano magnetico in ogni punto del globo, ib. Vol. XVI, p. 137.

882. Réaumur fu il primo ad osservare con maraviglia, che una calamita la quale aveva appena la forza necessaria per sostenere un pezzo di ferro d'un determinato peso, lo sollevava più facilmente quando era posto sopra un' incudine. Questo effetto si spiega facilmente con la teoria che abbiamo adottato: il ferro non può stare a contatto con la calamita senza divenir calamita esso pure; allora esercita esso pure un'azione sull'incudine per calamitarla, e l'incudine a vicenda esercita sopra di esso una reazione per accrescere la quantità di fluido libero in ciascuno dei suoi poli, cioè lo rende più capace di essere attratto di quello che sarebbe se fosse isolato.

883. Consideriamo nuovamente il caso in cui il corpo N essendo passato dallo stato naturale a quello di magnetismo in virtù dell'azione del corpo M, i poli erano situati come si vede nella figura, e supponiamo inoltre, per presentar l'esperienza nel più favorevole aspetto, che i due corpi sieno a contatto coi loro poli B, *a*. Se dietro al corpo N, e vicino al punto *b*, si ponga un altro corpo che sia nello stato naturale, l'azione di N lo convertirà in una calamita, di cui il polo australe sarà contiguo al polo *b*, e questa serie potrà continuarsi indefinitamente. Si può variare quest' esperienza in un modo curioso, cioè presentando un polo di una piccola sbarra magnetica a un' estremità d'un ago da cucire, e quindi alzando la sbarra onde l'ago resti ad essa sospeso: l'estremità inferiore di questo attrae un altro ago che resta egualmente sospeso al primo, e così di seguito, fintanto che la forza magnetica non è vinta dalla gravità, che in fine rompe questa catena.

884. Ecco un altro resultamento, che per quanto sia in oggi elementare per chi conosce un poco la teoria del magnetismo, merita nondimeno d' esser citato, perchè ne dà una prova evidentissima. Si prendono due sbarre calamitate, d' un' attività quasi eguale, e si presenta ora all' una or all' altra una chiave che possa esserne attratta, il che può accadere per parte di qualunque dei poli: quindi si pone l'altra sbarra su quella a cui è sospesa la chiave, facendo corrispondere dalla stessa parte i poli di diverso nome: la chiave cade nel momento, perchè l'azione che il polo a contatto con essa esercita per attrarre a se il fluido eterogeneo di questa chiave, è quasi distrutta dall'azione repulsiva della seconda sbarra; dal che si vede che la spiegazione del fatto suppone necessariamente questo principio, cioè che il ferro messo a contatto con la calamita divien calamita esso pure. Quindi si comprende perchè fa maraviglia a prima vista il vedere in questo fatto che una forza è distrutta dall' aumento d' altra forza, la quale sola produrrebbe pure un simile effetto.

Disposizione delle particelle di ferro in linea curva, per mezzo dell' azione magnetica.

885. L'azione del magnetismo si trasmette liberamente a traverso di tutti i corpi ehe sono incapaci di acquistarlo. Se si pone un asse, una lastra di vetro o di rame, ec. fra due calamite, non si osserva veruna alterazione notabile nelle reciproche loro azioni. In conseguenza di questa proprietà che hanno le forze magnetiche di non esser trattenute da verun ostacolo, alcuni hanno dato un aspetto di prestigio a certi fenomeni ordinarissimi, per mezzo di macchine che ne tenevano occulta la vera cagione.

Ma qui la sola esperienza spogliata di tutto ciò che potrebbe mascherarla, conduce a certi resultamenti capaci di illudere a prima vista lo stesso fisico; e una teoria non è mai tanto bene stabilita, quanto allorchè i suoi principii, che da prima sembrerebbero alterati dalle difficoltà che nascono da questi resultamenti medesimi, prendono anzi una forza maggiore dalle felici soluzioni che da quelli si deducono. Altre volte abbiamo avuto occasione di citare molte soluzioni di questo genere; e ciò che ora siamo per dire ne presenterà nuovi esempii non meno notabili.

886. Si pongono verticalmente a pochi centimetri di distanza due sbarre di ferro calamitato, con i poli opposti voltati dalla stessa parte; quindi si pone sopra le estremità superiori una tavola sottile o un foglio di carta su cui sia sparso un poco di limatura di ferro, e subito le particelle di questa limatura si dispongono in modo da formare varie curve, le quali si incrociano nei punti situati immediatamente sopra le estremità superiori delle due calamite, come può vedersi nella *fig.* 5.

I fisici hanno riguardato questo fenomeno come una prova evidente dei vortici magnetici; e mentre dalle altre esperienze non resultava veruna congettura, sull'esistenza di questi vortici, sembrava che in questa apparissero essi quasi naturalmente.

887. Analizziamo il fenomeno per farlo meglio comprendere secondo i principii della nostra teoria. Sia CG (*fig.* 6) una calamita che abbia il suo centro d'azione boreale in B, ed il suo centro d'azione australe in A. Sospendiamo liberamente un ago cortissimo di ferro verso un punto N più vicino a B che ad A: questo ago che supponiamo essere stato finora nello stato naturale, diverrà esso pure una calamita; e poichè possiamo supporre che la calamita CG operi in tal caso con una sola forza, in virtù di una certa quantità B' di fluido boreale (§. 877), l'ago prenderà una situazione obliqua *ba* relativamente alla calamita;

sicchè *a* sarà il suo polo australe, e *b* il suo polo boreale. In questo stato di cose figuriamoci che il centro *c* dell'ago venga mosso alquanto lungo la linea *ad* situata sul prolungamento di questo ago, dimanierachè il suo centro arrivi, per esempio, in *g*; e in tal caso l'estremità *a* dell'ago si avvicinerà al punto B in virtù di questo solo moto, e quindi l'ago stesso si fermerà in una situazione meno obliqua della precedente, in una direzione *em* che farà con la linea *bd* un angolo infinitesimo. Se si fa muovere di nuovo il centro *c* lungo la linea *em*, in modo che esso giunga in *f*, l'ago prenderà una nuova direzione *fl* infinitamente più inclinata sulla direzione precedente; e se si prosegua a farlo muovere di più, ognuno vede che questo centro descriverà una curva *cgfn* ec le direzioni della quale coincideranno con le diverse direzioni dell'ago.

Nella qual curva esisterà un punto in cui l'ago si allontanerà continuamente dal parallelismo con CG, e prenderà una direzione *nr* perpendicolare a questa linea; oltre il qual punto l'estremità *a* dell'ago tendendo sempre ad avvicinarsi al punto B, i nuovi lati *rs* della curva avranno un' inclinazione contraria a quella dei primi lati *cg*, *fg*, ec., e finalmente quando l'estremità *a* dell'ago sarà vicinissima al punto B, la curva passerà per questo medesimo punto. Nella parte inferiore poi essa formerà tali lati, che si avvicineranno sempre più al parallelismo con CG; e quando il centro dell'ago sarà situato in *p* precisamente sotto il centro O della calamita CG, la direzione *xy* dell'ago sarà parallela a CG in virtù dell'equilibrio fra le forze dei poli B ed A; oltre il qual termine la forza del polo A essendo divenuta superiore, la curva si piegherà verso il punto A, e in fine passerà per questo punto formando un nuovo ramo *xz*AM simile al ramo opposto.

Figuriamoci ora che sulla circonferenza di questa curva sieno disposti i centri d'una moltitudine di aghi cortissimi: in tal caso questi aghi si situeranno in modo, che ognuno di essi prenderà una direzione secondo la tangente al punto della curva, il quale si confonderà col centro dell'ago; e poichè tutti questi aghi son situati in modo che i loro poli di diverso nome sono reciprocamente opposti, aderiranno fra loro, e formeranno essi medesimi una curva continua.

888. Se si sostituisca a questi aghi la limatura di ferro, ma in vece di supporla sospesa liberamente si supponga posta sopra un piano su cui provi un certo attrito, la resistenza prodotta da questo attrito le impedirà di strisciare verso i punti A e B che l'attrarrebbero; nel tempo stesso questa forza attrattiva potrà esser tale, che le particelle di limatura prendano la direzione che prenderebbero nel caso in cui fossero mobili intorno ai loro centri, specialmente se la loro tendenza venga secondata con scuotere leggermente il piano che le sostiene; sicchè nel riunirsi for-

meranno la suddetta linea curva. Che se il piano è coperto di particelle di limatura, ognuno comprende che esse si dirigeranno sui lati di diverse linee curve relative ad altrettanti sistemi d'azioni particolari, e che avranno due intersezioni comuni nei punti A e B, il che è conforme all'osservazione.

Spiegazione d'un paradosso magnetico.

889. Può spiegarsi col raziocinio un fenomeno che ha un certo rapporto col precedente, ed è tanto più singolare quanto che sembra mettere l'esperienza in contradizione con la teoria, ed è il seguente. Si pone sopra una tavola OR (*fig.* 7) un sottil filo di ferro, lungo due o tre millimetri, e sopra questa tavola, alla distanza di alcuni centimetri, si tiene una sbarra magnetica AB, in situazione verticale, posta per parte, relativamente al filo di ferro, con uno qualunque de' suoi due poli. Subito il filo si alza dall'estremità più vicina alla sbarra, prendendo una situazione obliqua *ba*. Si scuote quindi leggermente la tavola in modo da fare un poco saltabellare il filo di ferro che quindi si avvicina continuamente alla sbarra, finchè giunge a porsi immediatamente sotto il polo B in una situazione verticale.

Fin qui tutto poteva prevedersi dall'osservatore. Se ora si pone la sbarra sotto la tavola, come si vede nella *fig.* 8, e si operi poi come nel caso precedente, il filo *ba* si alzerà nuovamente, facendo un angolo più o meno acuto con la superficie della tavola; ma a misura che si imprimeranno piccole scosse a questa tavola, il filo si allontanerà continuamente dalla sbarra, avvicinandosi al punto R, quantunque la sbarra eserciti evidentemente sopra di esso una forza attrattiva.

890. Per rischiarar questo paradosso, consideriamo nuovamente il caso in cui la sbarra era sopra la tavola. Sia B (*fig.* 9) il centro d'azione inferiore di questa sbarra. Appena il filo si alza, possiamo considerarlo come una piccola leva *ab*, di cui il punto d'appoggio è in *b*, e l'estremità *a* è investita nel tempo stesso dall'attrazione del polo B e dalla gravità che tende a farla scendere. Ma quest'ultima forza si oppone in parte all'effetto dell'attrazione di B, dimanierachè l'angolo *abs* formato dalla direzione del filo col piano OR è minore dell'angolo B*bs* che comparirebbe se il filo si dirigesse secondo la linea *b*B, che passa per il polo della sbarra.

Supponiamo ora che per effetto di una forza qualunque il filo *ab* si stacchi dal piano OR, in modo che il suo centro di gravità *c* si alzi alquanto sopra la sua prima situazione, e giunga al punto *c'* situato sulla verticale *uc'z*: se supponiamo per un momento che esso siasi posto nella

situazione $a'b'$ parallela ad ab, non vi resterà, ma le sue estremità b', a' essendo allora ambedue libere di muoversi, il filo girerà intorno al punto c', e tenderà a dirigersi sopra una linea che passi per il polo B, il che non può accadere senza che la sua estremità b' si abbassi verso il piano OR, e quando essa lo toccherà, il filo avendo una direzione come b'' a'', il prolungamento della quale passa per il polo B oppure in molta vicinanza di esso, la sua estremità b'' sarà più vicina alla verticale sB, che quando era nella situazione ba. Nel tempo stesso, poichè la resistenza del piano OR presenta un altro punto d'appoggio alla piccola leva, che è posata sopra di esso con la sua estremità b'', questa resterà fissa, mentre l'estremità opposta a'' scenderà un poco per effetto della gravità, in modo che l'angolo $a''b's$ scemerà d'una piccola quantità, restando però sempre più ottuso dell'angolo abs.

Frattanto mentre scende il punto a'', il centro di gravità c' lascerà la verticale uz, e si situerà in un punto x situato sopra un arco, il raggio del quale sarà $b''c'$, e quindi si avvicinerà ad sB. Se si imprime al piano OR un'altra scossa, e se; immaginiamo un'altra verticale che passi per il punto x, e lungo la quale si muova il centro di gravità del filo, verrà ripetuto il secondo effetto, e così di seguito, sicchè il punto b'' avrà un moto progressivo verso il punto s, e infine coinciderà con esso dirigendosi per la verticale sB.

891. Ma non è totalmente vera la supposizione di una verticale di cui segua la direzione il centro di gravità del filo, alzandosi sopra la sua situazione precedente; poichè la calamita AB non si allontana dal filo in modo, da potersi riguardare come insensibile la quantità di cui le distanze dei poli a, b di questo filo dal polo B della calamita differiscono l'una dall'altra, relativamente a se stesse. Quindi è che l'attrazione del polo B sul polo a dell'ago è un poco maggiore della repulsione sul polo b; e per una necessaria conseguenza il centro di gravità del filo, mentre si eleva in virtù della scossa impressa al piano OR, che si suppone operare in direzione opposta alla gravità, non si muove esattamente in linea verticale, ma devia alquanto verso la calamita AB, e lo stesso effetto vien ripetuto quando il filo scende nuovamente sul piano. Facilmente però si comprende che l'azione di questa piccola forza non si oppone al moto progressivo del filo verso la calamita, ma non fa che distogliere alquanto questo filo dalla strada che esso prenderebbe in virtù dell'altre forze che operano sopra di lui.

892. Cerchiamo ora di analizzare egualmente l'effetto inverso presentato dal fenomeno, quando la calamita è situata sotto il piano OR (*fig.* 10), supponendo al solito che il polo A più vicino al piano OR sia l'australe, il che però non influisce nulla sull'effetto. In tal caso il

filo di ferro essendosi posto naturalmente nella direzione ba, se si scuota un poco il piano OR, e c' sia la nuova situazione del centro di gravità del filo, è chiaro che il filo in vece di restare in una direzione a' b' parallela ad ab si abbasserà con la sua estremità b' in modo, che quando questa toccherà il piano OR, la direzione del filo sarà sulla linea a'' b'' A, che passa per il polo A della calamita; dal che segue che l'estremità b'' sarà più lontana dalla verticale As di quello che se fosse nella sua prima situazione. Ma nel tempo stesso il filo sostenuto in b'' dal piano, scenderà alquanto con la sua estremità a'' in virtù della gravità, e il suo centro di gravità si trasporterà a destra della verticale uz: dal che apparisce chiaramente, che in conseguenza di altre scosse impresse al piano OR, il filo si avvicinerà al punto R in modo, che l'attrazione esercitata sopra di lui dalla calamita sembrerà cambiata in repulsione.

893. In questo fatto non abbiamo preso in considerazione la tendenza che ha il centro di gravità del filo a portarsi verso la calamita, la quale attrae il polo b più di quello che non respinga il polo a. Or questa attrazione opera per opporsi al moto retrogrado del filo ab; ma il suo effetto non essendo che la conseguenza della piccola diversità che passa fra le forze esercitate dalla calamita sui due poli del filo, sembra che debba essere abbondantemente compensato da quello delle due forze cospiranti, che operano una sul polo b' e l'altra sul polo a', per far girare il filo intorno al suo centro e dirigerlo secondo a'' b''. L'osservazione di ciò che accade nell'esperienza, in cui ad ogni scossa impressa al piano OR il filo si allontana dalla calamita, serve di conferma a questo raziocinio, e prova che il secondo effetto è realmente quello che predomina.

894. Citeremo un'esperienza facilissima ad eseguirsi, la quale presenta riuniti molti piccoli fenomeni simili a quello che abbiamo spiegato. In vece di un sol filo di ferro si mette sul piano OR un pizzico di limatura di ferro, e si dispone la calamita sotto il piano in modo, che la sua direzione prolungata passi per il centro del piccolo spazio coperto dalla limatura. Scuotendo leggermente e continuamente il piano, le particelle della limatura si discostano per ogni parte, come se fossero mosse lungo il raggio d'un circolo, e nel punto che occupavano lasciano uno spazio voto intorno al quale si dispongono in forma di disco (67).

(67) Il fluido magnetico circola secondo la direzione del giro diurno della terra, cioè da Est a Ovest; e quindi investendo un corpo non penetrabile ad esso, quale è la calamita o un ferro calamitato, si distribuisce intorno ad esso; e se è mobile, lo muove finchè si trovi in contrasto fra le due correnti, e però si fissi irremovibilmente nella direzione del Sud al Nord. Per indicare il

Distribuzione dei due fluidi in una calamita.

895. Prima d'inoltrarci di più in questa teoria, è necessario dare un'idea del modo con cui i due fluidi magnetici son distribuiti nell'interno di una calamita. Questa distribuzione che è analoga a quella del fluido elettrico intorno ad un conduttore, o a quella dei due fluidi elettrici in una tormalina, si fa generalmente in modo, che essendo molto considerevoli le densità magnetiche verso le estremità, scemano quindi rapidamente, e divengono quasi nulle in uno spazio di qualche estensione verso il mezzo della calamita, e quindi i centri d'azione sono, come abbiam detto (§. 870), a piccola distanza dalle estremità. Per esempio, questa

modo con cui possiamo figurarci questa distribuzione, riporterò un' esperienza del dotto Cav. Nobili, esposta nelle sue *Questioni sul Magnetismo.*

Sia NS (Tav. I, *fig.* a^{VII} un cilindro calamitato, voltato con i suoi poli nelle naturali direzioni di Nord e di Sud; e figuriamocelo diviso con un piano verticale N' S' in due parti, orientale e occidentale, e da un altro piano O'E' perpendicolare al primo, diviso in due parti settentrionale e meridionale: sia PQ un piccolo cilindro di ferro non calamitato, destinato a scorrere perpendicolarmente sul contorno del cilindro calamitato con una sua estremità P, per indicare con l'altra Q la specie e la forza del magnetismo che si sviluppa dal cilindro NS nelle diverse sue parti. Eseguendo questa operazione nel modo espresso dalla *fig.* a^{VIII}, dove la curva Nv''OS'Ev''N rappresenta la corrente del fluido magnetico intorno al cilindro calamitato, si vede

1.° Che l'asta PQ si calamita in tutti i punti del contorno del cilindro calamitato, eccettuate le due situazioni equatoriali O, E, nelle quali resta nel suo stato naturale;

2.° Che il magnetismo che essa riceve nella parte boreale è boreale, e l'altro è australe: e infatti in quella si riscontrano altrettanti poli Nord, come in questa altrettanti poli Sud; le quali polarizzazioni son chiamate dall'Autore *polarizzazioni di consenso*;

3.° Che queste polarità di consenso vanno crescendo in energia dall'equatore OE, dove son nulle, fino alle estremità N, S, dove son massime, come si verifica osservando la limatura di ferro, che nei varii punti dell'applicazione dell'asta al cilindro, resta attaccata all'estremità Q di quella.

Di qui si vede, come senza ricorrere all'ammissione di due fluidi, col giro d'un unico fluido si spiega più facilmente questo fenomeno principale del magnetismo, e quindi gli altri fenomeni che ne dipendono; e in conseguenza apparisce, che anco relativamente a questa teoria l'ipotesi d'un solo fluido è preferibile a quella di due fluidi. Se la natura d'un'opera elementare, e i limiti in cui debbono pur ristringersi le note lo permettessero, si potrebbero esporre altre esperienze di questo genere, di cui è ricca la citata opera, che sparge moltissimi lumi su questa teoria, e alla quale potrà ricorrere chi desidera una più minuta istruzione in questo genere.

distanza non era che $22^{millim.}$, 5 ossia 10 linee in un filo d'acciaio di $67^{centim.}$, 5 ossia 25 pollici di lunghezza. Si può dedurre approssimativamente questa distanza dei centri d'azione relativamente alle estremità di un filo o di una sbarra d'acciaio calamitato, tenendo questa sbarra in situazione verticale in faccia ad un ago di bussola sospeso liberamente, e alzandola o abbassandola in modo da presentare successivamente all'ago i varii punti della lunghezza di essa; e in questo ago si osserverà una tendenza simile verso un certo punto della sbarra, che sarà poco lontano dall'estremità situata dalla stessa parte.

896. Un resultamento analogo a questo può ottenersi ancora variando le funzioni della sbarra e dell'ago, cioè ponendo orizzontalmente la sbarra, e situando il sostegno dell'ago verticalmente sulla faccia superiore di essa. Se per esempio il sostegno corrisponda al punto di mezzo di questa faccia, è chiaro che la direzione dell'ago sarà parallela all'asse della sbarra. Si trasporti quindi il sostegno da una parte o dall'altra, e vedremo l'ago inclinarsi a poco a poco verso l'estremità della sbarra stessa a cui è stato avvicinato; e se questa sia per esempio la sede del fluido australe, il polo dell'ago attratto da questa sarà il boreale. Se proseguiamo a muoverlo, l'ago si inclinerà sempre più; e quando sia arrivato a una distanza dall'estremità verso cui si muove, in cui l'asse del suo sostegno, supposto prolungato, passerebbe per il centro d'azione australe della sbarra, subito farà una mezza rivoluzione intorno al suo pernio, e si inclinerà in parte contraria, per proseguire a presentarsi nella stessa maniera all'attrazione del centro, il quale eserciterà esso pure la sua azione in una direzione opposta alla prima. Ognuno vede che questa esperienza non è che una ripetizione della prima, nella quale il moto circolare è sostituito al moto d'oscillazione.

897. La distribuzione dei due fluidi magnetici in una calamita quale l'abbiamo descritta, dipende dalla ragione inversa del quadrato della distanza, che seguono le forze di questi due fluidi. Se dovessimo giudicarne dall'apparenza, parrebbe che l'azione di ciascuna metà della calamita derivasse unicamente dalla presenza di un solo fluido in stato di libertà; ma tutto ci induce ad ammettere quell'ipotesi di Coulomb che già indicammo parlando dell'elettricismo (§. 756), cioè a riguardare ciascuna molecola di ferro come una piccola calamita con i poli australe e boreale di egual forza. Tutte le piccole calamite di cui una sbarra magnetica può considerarsi composta, son disposte sopra varie file parallele all'asse della sbarra, in modo che il polo boreale dell'una è contiguo al polo australe della susseguente, o reciprocamente. Procuriamo

di far vedere che in questa ipotesi si osserva lo stesso fenomeno, come se ciascuna metà della calamita fosse in un solo stato di magnetismo.

898. Figuriamoci primieramente un ago sottilissimo *mn* (*fig.* 11) composto d'un' infinità di piccoli aghi *c*, *d*, *e*, *f*, ec., e supponiamo che questo ago sia stato posto in stato di magnetismo dall' azione di una calamita. In tal caso tutte le forze contrarie dei poli contigui *b*, *a'*, *b'*, *a''*, ec. (*a*) saranno eguali fra loro, sicchè le loro azioni si ridurranno a zero. In quanto alle forze dei due poli estremi, cioè quella del polo *a* dell' ago *c* e quella del polo *b* dell'ago *r*, che soleǂsono in attività per effetto del loro isolamento, poichè le quantità di fluido da cui esse dipendono non riseggono che in due punti, queste forze son riguardate come se operassero su tutti i poli intermedii a distanze infinite, e quindi la loro azione non è capace in verun modo di alterare lo stato dell' ago intero.

Se dunque esistesse un simil ago magnetico, i suoi due centri d'azione sarebbero situati nei suoi punti estremi, e tutto lo spazio intermedio si riguarderebbe come se fosse nello stato naturale.

899. Ma l' ipotesi d' un ago sottilissimo non è che ideale, perchè qualunque calamita ha sempre una grossezza più o meno considerevole. Possiamo però prevedere per mezzo del raziocinio cosa deve resultare dall'influenza scambievole dei diversi aghi simili ad *mn*, di cui si suppone composta la calamita, per mettere questa nello stato in cui ce la presenta l' osservazione.

Figuriamoci che sia MN questa calamita, e che quindi in ciascuno dei suoi aghi componenti, la distribuzione dei due fluidi sia in principio eguale a quella dell' ago *mn*: supponiamo inoltre di metter questo ago a contatto con la calamita MN, in modo che essa formi un tutto con quello, ed esaminiamo le azioni che essa deve esercitare sui varii punti di questo ago. Se col pensiero dividiamo la calamita MN in altrettante parti C, D, E, F, ec., quanti aghi parziali sono nell' ago *mn*, avremo una serie di calamite nelle quali le forze dei poli contigui B, A', B', A'', ec. si distruggeranno scambievolmente, e così in tal supposizione non potrà MN esercitare verun' azione sull' ago *mn*, se non per mezzo delle forze che esistono nei poli estremi, cioè il polo A della parte C, o il polo B della parte R. E ciascuna di queste forze è quella d' un fluido che si estende sopra una superficie eguale alla base della parte C o R, composta d' un' infinità di punti; dal che resulta che essa esercita un' azione su tutti i piccoli aghi *c*, *d*, *e*, *f*, ec., a distanze finite.

(*a*) La lettera *b* indica qui secondo il solito, il polo boreale, e la lettera *a* l' australe.

Frattanto il fluido del polo superiore a attrae a se il fluido boreale del polo b, b', b'', ec. di ciascuno di questi aghi, e respioge il fluido australe del polo a, a', a'', ec.: dunque vi sarà un certo numero di molecole eterogenee che si riuniranno in ciascun ago, e compenseranno una porzione del floido naturale. Ma il fluido del polo A esercita uoa forza maggiore sugli aghi vicini all' estremità m, e più debole su quelli che sono a una certa distaoza da m: dunque la quaotità di fluido naturale compeusata scemerà da un ago all' altro, e però le porzioni di fluido che restaoo sprigionate, anderanno al contrario crescendo oltre l' ettremità m. Lo stesso accaderà, ma io modo opposto, in virtù dell' aziooe del polo ioferiore B sugli aghi r, o, h, ec.

Se dunqoe rappresentiamo con a, b, a', b', ec., le quantità di fluido che restano in stato di sprigionameoto negli aghi, di cui con queste lettere abbiamo iodicati i poli, e se facciamo il paragone fra i due aghi c, d, avremo a' maggiore di b: parimeote paragonando c coo d, avremo a'' maggiore di b', ec., dal che concluderemo che l' azione $a'' - b'$ dei due aghi susseguenti equivale a quella d' uo polo australe investito da una forza egoale all' eccesso di a' sopra b, o di a'' sopra b'. Ragionando nello stesso modo relativamente ai poli successivi fioo al mezzo dell' ago mn, si concluderà che tutta questa metà opera come opererebbe in virtù dell' azione di uoa serie di quantità decrescenti di fluido australe; e accaderà l' opposto relativamente alla metà inferiore dell' ago mn. Le differenze $b' - a$, $b'' - a'$, ec., fra le qoantità di fluido che apparteogono agli aghi parziali r, o, ec., rappresenteranoo ciascuoa una forza boreale, e tutta qoesta metà dell' ago si riguarderà come in stato di magnetismo boreale. Iooltre, poichè i punti equidistaoti dalle estremità sono investiti da forze eguali e contrarie, si avrà nel mezzo dell' ago $b''' - a''' = 0$, e quindi questo punto sarà neutro (a).

(a) Per render più chiara questa spiegazione, serviamoci di numeri a piacere, e rappresentiamo primieramente con $+16$ e -16 le quantità di floido che rivestivano i varii poli a, b, a', b', ec. nello stato primitivo dell' ago, nella quale espressione il segno $-$ indica il fluido boreale. Supponiamo che in virtù del contatto della calamita MN, e della nuova distribuzione che ne resulta relativamente ai doe fluidi contenuti nell' ago mn, lo stato dell' ago parziale c sia rappresentato da $6-6$, quello di d da $+12-12$, quello di e da $+15-15$. quello di f da $+16-16$; e che egualmente, partendo dall' estremità opposta, lo stato di r sia rappresentato da $-6+6$, quello di o da $-12+12$, quello di h da $-15+15$, e quello di g da $-16+16$: è chiaro che le quantità di floido australe che resteranoo in attività nella metà superiore dell' ago formeranno qoesta serie: $+12-6$, $+15-12$, $+16-15$, $+16-16$, o più semplicemente 6, 3, 1, 0. Nello stesso modo le quantità di fluido boreale che resteranno in attività nella metà inferiore dell' ago daranno questa serie: $+6-12$, $+12-15$, $+15-16$, $+16-16$, ossia -6, 3, 1, 0. Così potremo considerare ciascuna metà dell' ago come investita da una sola forza eguale e contraria a quella dell' altra metà.

Ma perchè le forze della calamita MN seguono la ragione inversa del quadrato della distanza, eserciteranno una forza molto più intensa sugli aghi vicini alle estremità *m*, *n*, che su quelli che ne sono più lontani, sicchè se l'ago *mn* è alquanto lungo, l'effetto di queste forze diverrà quasi nullo sulla parte media dell'ago. Così i fluidi conserveranno quasi il loro stato primitivo in questa parte, la quale in conseguenza non differirà molto dallo stato naturale.

Ciò che abbiam detto dell'ago sottilissimo *mn*, è vero egualmente in tutti gli aghi di cui è come la riunione una calamita MN di qualunque grossezza, e ciò in virtù delle azioni reciproche di essi; sicchè nel momento stesso in cui questa calamita è stata tolta dal suo stato naturale, si è stabilita nel suo interno una distribuzione generale dei due fluidi, simile a quella da noi considerata relativamente a un sol ago, per facilità d'intelligenza.

Magnetismo completo d'un segmento di sbarra calamitata.

900. Facilmente può ora spiegarsi un fenomeno che è stato soggetto di maraviglia per i fisici, e di cui Epino stesso ha data una spiegazione ben poco soddisfacente. Se si taglia presso ad un'estremità una sbarra magnetica, staccandone una porzione più o meno lunga a piacere, subito questa porzione diviene una calamita completa essa pure, con le due metà dotate di forze eguali e contrarie. In qual modo si può concepire, secondo l'ordinarie teorie, il doppio magnetismo di cui si trova a un tratto dotato questo segmento, che prima era tutto in un solo stato di magnetismo, simile a quello della parte da cui è stato staccato?

Per spiegare questo paradosso, consideriamo nuovamente il sottilissimo ago *mn*, in cui si osserva, come abbiamo veduto, una successione di poli opposti, eguali in forze, e contigui a due a due, eccettuato il primo e l'ultimo che sono isolati. È chiaro che rompendo questo ago in qualunque punto della sua lunghezza, in ciascuna parte si osserverebbero alle estremità due poli dotati di forze eguali e contrarie, una delle quali, che prima era isolata, aveva tutta la sua intensità, e l'altra che era equilibrata dalla forza del polo contiguo, sarebbe divenuta attiva separandosi da questo polo.

Lo stesso accaderà se si supponga che una porzione della calamita MN sia stata staccata dal resto, se non che il polo situato nel punto della divisione avrà in principio più forza di quello dell'opposta estremità, poichè nella calamita tuttora intatta, le quantità di fluido andavano crescendo da un polo all'altro oltre ambedue le estremità: ma nel

momento stesso lo stato di tutto il sistema si cambierà in modo da soddisfare alle condizioni dell'equilibrio, il quale richiede che tutto sia simile da una parte e dall'altra ad egual distanza dalle estremità.

901. Abbiamo osservato (§. 756) un simil fenomeno nelle tormaline; ed è infatti naturale che le molecole integranti dei corpi tanto magnetici quanto elettrici, essendo altrettanti piccoli cristalli completi, che hanno forme simili, e che son disposti simmetricamente nei corpi interi, ciascuna di esse debba altresì esser soggetta interamente alla doppia azione dell'elettricismo o del magnetismo, per metter le sue due metà in stati differenti; sicchè la distinzione di questi medesimi stati, relativamente ai corpi interi non è che una conseguenza di ciò che accade per ciascuna molecola. L'effetto è perfettamente simile a quello delle parti componenti; e ammettendo tal ipotesi probabilissima, non v'è più nulla di straordinario nei fenomeni prodotti da questi corpi, i quali potrebbero chiamarsi i *i polipi del regno minerale.*

902. L'esistenza dell'azione polare nelle molecole del ferro in stato magnetico, è una necessaria conseguenza del resultamento d'un'esperienza facilissima, il quale si ottiene con l'estremità d'un sottil filo di ferro, lungo cinque o sei centimetri; e adattatissimo a questa esperienza è un filo di metallo simile alle corde da cimbalo. Scelto un piccolo ago calamitato mobilissimo, si presenti successivamente ai suoi due poli una medesima estremità di questo filo; e se apparisce che esso pure abbia la virtù polare, come spesso accade per una ragione che vedremo in segnito, si accresca quest a virtù per mezzo d'uno dei metodi di magnetizzazione di cui parleremo fra poco: si tagli quindi con le forbici il filo, in modo da dividerlo in parti sempre più piccole, le quali si presenteranno a vicenda all'azione dell'ago, lasciandole nella situazione in cui erano quando riunite insieme formavano il filo; e si troverà che ciascuna di esse avrà due poli situati in egual modo che quelli del filo intero, e sempre appariranno in tutte le parti che non saranno tanto piccole da non poter esser maneggiate e presentate all'ago. E poichè non v'è ragione alcuna, per cui la virtù polare cessi in un punto piuttosto che in un altro, nella porzione di serie che è inaccessibile all'esperienza per l'imperfezione dei nostri mezzi, si può concludere che essa si estende fino alla molecola integrante che ne è l'ultimo termine.

4. DELLA COMUNICAZIONE DEL MAGNETISMO.

903. Dopo aver parlato (§ 879) dell'azione esercitata da una calamita sopra un pezzo di ferro, che essendo prima nel suo stato naturale, si trova quindi situato nella sfera d'attività di questa calamita, e dopo aver veduto che acquistava esso pure la virtù magnetica, sicchè la sua parte voltata verso la calamita era in uno stato contrario a quello del polo che più da vicino aveva operato sopra di esso, passiamo ora ad esporre i diversi mezzi con cui questo magnetismo per comunicazione è stato reso della maggiore intensità possibile. Prima però convien dare un'idea d'un effetto che accade qualche volta, in conseguenza d'un'irregolar distribuzione dei due fluidi, messi in moto in un corpo che passa allo stato di magnetismo.

Dei punti conseguenti.

904. Sia AB (*fig.* 12) una calamita vigorosa, che eserciti la sua azione sopra una sbarra di ferro *mn* per comunicarle la virtù magnetica: l'azione di questa calamita che dipenderà dall'eccesso B′ della forza del polo boreale B su quella del polo australe A (§. 880), attrarrà una porzione del fluido australe *a* nella parte della sbarra vicina ad *n*; e respingerà una porzione del fluido boreale *b* nelle parti situate verso *m*. Ma due cause si oppongono al moto di questo ultimo fluido, cioè la difficoltà che le sue molecole provano a muoversi nel ferro, e che deriva dalla forza coibente (§. 869), e la repulsione esercitata su queste medesime molecole da quella del fluido già accumulato verso l'estremità *m*; e questa repulsione cresce continuamente al crescere di questo accumulamento medesimo. Può dunque accadere che vi sia un termine in cui la resistenza che nasce dal concorso di queste due cause divenga superiore alla repulsione della forza B′, e allora il fluido, cedendo a questa resistenza, resterà per così dire ingorgato in qualche punto *b′*, e vi si accumulerà tanto da produrre con la sua azione nella parte vicina *a′*, il magnetismo australe.

La sbarra *mn* avrà dunque in questo caso quattro poli situati uno dopo l'altro, dotati alternativamente del magnetismo australe e del magnetismo boreale Questi poli che così si succedono in una stessa calamita sono stati chiamati *punti conseguenti.* Passa una differenza notabile fra questa successione di poli contrarii e quella che resulta dall'esser le molecole del ferro come altrettante piccole calamite, delle quali i poli a contatto hanno forze opposte, poichè abb am già veduto che

queste forze equivalgono a una forza sola, la quale da un punto all'altro non varia se non in intensità, mentre ciascun punto conseguente fa nascere una forza realmente contraria a quella che senza esso si osserverebbe nella parte dove si trova tal punto.

905. L'azione d'una calamita sopra un ago che è già in stato magnetico, ma che non ha se non i soliti due poli, può esser tanto forte da fargli acquistare uno o due poli di più, e in tal caso esso avrà tre o quattro punti conseguenti. Può ancora produrre un altro effetto che è connesso col precedente, e da cui resulta una semplice inversione dei poli dell' ago, in modo che il polo australe prende il posto del polo boreale e il polo boreale dell'australe.

Ma l'accadere o l'uno o l'altro di questi effetti dipende dal rapporto fra la forza della sbarra e quella dell'ago. Se si presenti per il suo polo boreale *b* un ago *mn* (*fig.* 13), mobile sul suo pernio, al polo boreale *b* d'una sbarra, tenendolo fisso con le mani onde non secondi la forza di repulsione, potrà accadere che la forza B della sbarra (§. 879) respinga tutto il fluido *b* fino a una certa distanza dall'estremità *n*, e nel tempo stesso scomponga una nuova porzione del fluido che nell'ago è tuttora in stato naturale, e attragga verso *n* il fluido australe che formava una parte di questo fluido naturale. L'ago in tal caso avrà tre punti conseguenti, come si può osservare nella *fig.* 14; sicchè se si faccia passare successivamente davanti ai suoi diversi punti il polo australe d'un altro ago, che non abbia tanta azione da far cambiare lo stato del primo, le due estremità di questo saranno respinte, e fra l'una e l'altra esisterà un punto *b* che sarà attratto.

906. Ma se la sbarra AB (*fig.* 13) è tanto vigorosa da superare in tutti i punti dell'ago *mn* la resistenza della forza coibente, potrà accadere che essa respinga fino in *m* il fluido boreale dell'ago, e attragga fino in *n* il suo fluido australe, e in tal caso verranno rovesciati i poli dell'ago, senza che esista verun polo intermedio fra le estremità *m*, *n*.

907. L'analogia fra le calamite ed i corpi capaci d'essere elettrizzati per via di calore, apparisce perfino in questa specie di anomalia che si osserva nei punti conseguenti. Noi stessi abbiamo veduto un topazio, che dopo essere stato riscaldato aveva le sue due estremità in stato resinoso, mentre la parte intermedia dava segni d'elettricismo vitreo (*a*).

(*a*) *Annales du Museum d'Histoire Naturlle*, T. I. p. 350.

Differenze fra l' acciaio e il ferro dolce, relativamente alla comunicazione del magnetismo.

908. Per meglio intendere ciò che segue, ripeteremo qui più particolarmente ciò che abbiamo già detto (§. 869) intorno alla differenza prodotta in generale dalla maggiore o minor durezza del ferro nel moto interno del fluido. Nell'acciaio un tal moto accade con molta difficoltà; ma però quando i due fluidi componenti son giunti a superare gli ostacoli che impedivano ad essi il distribuirsi nelle due metà d'una sbarra d'acciaio, la stessa difficoltà che aveva ritardata questa distribuzione, si oppone all'effetto della forza attrattiva che tenderebbe a trasportare uno verso l'altro i due fluidi per combinarli, e quindi ridurre nuovamente la sbarra al suo stato naturale. Nel ferro dolce al contrario lo sprigionamento dei due fluidi accade più facilmente e con maggior abbondanza, ma con egual facilità essi si combinano di nuovo, e quindi il ferro dolce acquista prontamente un alto grado di magnetismo, ma poco durevole, mentre l'acciaio molto più difficile a calamitarsi, conserva più lungamente l'acquistata virtù; e però per fare le calamite artificiali si fa sempre uso di sbarre d'acciaio.

Conserviamo noi stessi alcune piccole sbarre d'acciaio di 5 centimetri ossia quasi 2 pollici di lunghezza, calamitate da 50 anni in circa, e che esercitano una forza notabile d'attrazione e di repulsione sopra un ago di bussola da una distanza di 11 centimetri ossia 4 pollici incirca. Dall'altra parte abbiamo trovato che chiavi ed altri strumenti del medesimo genere, che avevano acquistato l'azione polare col metodo del doppio contatto, che fra poco spiegheremo, la conservavano in parte dopo un mese e più ancora, il che prova che il magnetismo del ferro dolce non è poi tanto passeggiero quanto era stato creduto.

Metodo di calamitare con un solo contatto.

909. La più semplice maniera di comunicare il magnetismo a una verga di ferro o d'acciaio, consiste nel confricare questa verga con una sbarra calamitata, facendo strisciare un polo di questa su tutta la lunghezza della verga, ripetendo più volte quest' operazione sempre per il medesimo verso. Se per esempio il polo della sbarra a contatto con la verga sia il boreale, l'azione di questo attrae il fluido australe della verga, e respinge il fluido boreale; quindi è che la parte della verga a contatto con la sbarra tende continuamente verso lo stato di magnetismo australe, e quando la sbarra è giunta all'estremità, e vien ritirata, la

parte della verga da cui si allontana, si trova nello stesso stato di magnetismo.

La sbarra nel suo moto esercitava un'azione sopra una parte e sull'altra nel tempo stesso, da una certa distanza, per respingere il fluido boreale; ma a misura che si inoltrava verso l'estremità dove il suo moto doveva terminare, distruggeva l'effetto di quest' azione nei punti ai quali si avvicinava, e li faceva passare allo stato di magnetismo australe; dal che segue che al fine del suo moto le parti situate fino a un certo limite verso l'estremità lasciata dalla sbarra, posseggono il magnetismo australe, e l'altre parti situate verso l'estremità opposta, hanno acquistato il magnetismo boreale; e così quando la verga resterà libera, i due fluidi, per soddisfare alle condizioni dell'equilibrio, vi si distribuiranno in modo, che tutta la metà percorsa ultimamente dalla sbarra possederà il magnetismo australe, e l'altra metà il magnetismo boreale.

Un'altra confricazione, sempre per il medesimo verso, servirà in parte per scemare l'effetto della precedente, e in parte per aumentarlo, e finchè il secondo effetto sarà superiore al primo, la verga anderà sempre acquistando forza. Ma questo aumento di potere magnetico sarà limitatissimo, dimanierachè dopo un piccolo numero di confricazioni cesserà la comunicazione del magnetismo.

Metodo del doppio contatto.

910. Il modo di calamitare inventato da Micheli, conosciuto sotto il nome di *metodo di doppio contatto*, è molto più vantaggioso del precedente. Per metterlo in pratica si prendono due sbarre calamitate R, S (*fig.* 15) poste verticalmente e poco distanti fra loro, in modo che si corrispondano i due poli opposti A e B. In tal situazione si fanno strisciare da un'estremità all'altra della verga che deve esser calamitata, in modo che esse vadano alternativamente avanti e indietro, osservando di non oltrepassar mai le estremità della verga stessa; e quando dopo molte simili confricazioni le sbarre si trovano verso il mezzo della verga, si tolgon via in direzione perpendicolare alla medesima. Con questa operazione si riduce ciascuna estremità della verga nello stato contrario a quello del polo inferiore della sbarra, situato verso questa medesima estremità.

911. Per comprendere l'effetto di questo metodo; consideriamo primieramente ciò che accade nella parte della verga che corrisponde all'intervallo fra i centri d'azione a', b' dei poli inferiori, che soli influiscono notabilmente sulla produzione dell'effetto. È chiaro che ciascuna molecola del fluido australe, come x, contenuta in questa parte intermedia, è attratta da sinistra a destra dal centro d'azione boreale b', e respinta

per la stessa parte dal centro d'azione australe a'. Al contrario ciascuna molecola m di fluido boreale è attratta da destra a sinistra dal centro a', e respinta nella stessa direzione dal centro b'. A questi effetti si oppongono fino a un certo punto le azioni esercitate dalle sbarre sulle parti successive: per esempio la sbarra S respinge verso la parte destra le molecole di fluido boreale che sono dietro a se, e respinge da destra a sinistra le anteriori, poste negl' intervalli fra i centri. Ma la prima repulsione è distrutta in gran parte dall' attrazione contraria dell' altra sbarra R sulle stesse molecole, sicchè in sostanza l'operazione tende continuamente al suo scopo, cioè a produrre il magnetismo australe in tutta la metà della verga situata a destra, e il magnetismo boreale nella metà opposta. Usando la precauzione di toglier le sbarre dal mezzo della verga al termine dell' operazione, si viene a produrre una distribuzione più simmetrica dei fluidi nelle due metà di questa verga lasciata libera.

1912. E qui si presenta al pensiero una considerazione relativa alla distanza richiesta fra le sbarre, onde le loro azioni abbiano la maggior influenza possibile sull' effetto principale, cioè su quello che è prodotto nello spazio chiuso fra queste sbarre. La determinazione di questa distanza dipende dall' elevazione dei centri d'azione a', b' sopra la sbarra A' B' che riceve il magnetismo. Per ben comprendere ciò, supponiamo che le sbarre essendo a qualunque distanza una dall'altra, i loro centri d'azione si trovino in a e in b (*fig.* 16), e che A' B' sia sempre il corpo che vogliamo calamitare. Consideriamo solamente per maggior semplicità l' azione repulsiva del centro b sopra una molecola m di fluido boreale contenuto nella sbarra A' B'. Quest' azione avendo una direzione obliqua, relativamente alla lunghezza di questa sbarra, direzione secondo la quale il fluido deve essere spinto per arrivare in B', essa si decompone in due altre azioni, una secondo bp perpendicolare sopra A' B', e che è nulla relativamente all' effetto proposto; l'altra secondo br, condotta parallelamente ad A'B fino all' incontro con mr perpendicolare sulla linea d'unione dei centri; e questa seconda forza contribuisce sola al moto della molecola verso B'.

Ma da una parte la linea br cresce al crescer dell' angolo bma, ossia al crescere dell' allontanamento fra le due sbarre; e scema però nel tempo stesso l' intensità dell' azione di b, in ragione di una maggior distanza fra questo centro e la molecola m. Se questa distanza sia nulla, si distruggerà l' azione rappresentata da br; e se al contrario la distanza è infinita, l' intensità della forza di b sarà zero. Dunque relativamente all' angolo bma v'è una certa misura media, che dà per la forza reale il maggior valore possibile. Epino il quale supponeva che l'azione delle forze magnetiche seguisse la ragione inversa della semplice distanza, aveva tro-

vato che l'angolo bmd quando era massimo era angolo retto; ma se di nuovo si stabilisca la vera legge, cioè quella che segue la ragione inversa del quadrato della distanza, si avrà 70° 31′ 44″ per il valore di detto angolo (*a*).

913. Se per esempio le sbarre di cui ci serviamo sieno nello stesso stato in cui era il filo d'acciaio, di cui abbiam parlato di sopra (§. 894), che aveva 67$^{cent.}$, 5 di lunghezza, e in cui i centri d'azione erano distanti dalle estremità 22$^{mil.}$, 5, in tal caso per ottenere la massima quantità d'azione, bisognerà collocare le sbarre alla respettiva distanza di 32 millimetri.

PERFEZIONAMENTO DELLO STESSO METODO.

914. In una maniera diversa si è servito Epino del metodo del doppio contatto, cioè inclinando le sbarre in parte contraria (*fig.* 17), in modo che ciascuna di esse facesse un piccolo angolo di 15 o 20 gradi con la sbarra A′ B′; ed era indotto a servirsi del metodo in questa maniera, dal riflettere che operando così si ottengono due vantaggi: primieramente i centri d'azione a' b' che erano alquanto elevati sopra la superficie della sbarra A′ B′, quando le sbarre che operavano su questo erano in situazione verticale, si trovano ora molto più vicini ad essa, e quindi la loro azione è più efficace: in secondo luogo essendo notabilmente accresciuto l'intervallo fra i centri d'azione, in conseguenza dell'angolo ottusissimo che le sbarre fanno tra loro, questa nuova circostanza estende i limiti fra i quali era ristretto l'effetto delle forze cospiranti, e seconda più agevolmente l'attività di queste forze.

915. Ma a fronte di tali vantaggi, v'era però l'inconveniente che in questa operazione venivano a nascere uella verga A′ B′ varii punti conseguenti, l'azione dei quali, per quanto poco sensibile, uon doveva tra-

(*a*) Rappresentiamo la forza obliqua nella direzione bm per mezzo della porzione om di questa linea, e conduciamo og parallela a br: og sarà la quantità massima che dovremo cercare. Sia $br = x$, e $rm = a$, e sia z in generale il numero che indica il grado della potenza relativa alla legge dell'attrazione o della repulsione. Avremo $om = \frac{1}{(bm)^z}$. Inoltre om, o $\frac{1}{(bm)^z} : og :: bm : x$: dunque $og = \frac{x}{(bm)^{z+1}} = \frac{x}{(a^2 + x^2)^{\frac{z+1}{2}}}$, quantità di cui la differenziale eguagliata a zero dà $x = \pm \frac{a}{\sqrt{z}}$.

Se si faccia, $z = 1$, si ha $x = a$, il che conduce al resultamento d'Epino: se si faccia $z = 2$, conformemente alla vera legge, si trova $a : x :: \sqrt{2} : 1$ dalla quale espressione si deduce l'angolo suddetto.

scurarsi, specialmente quando si trattava di aghi da bussola, la perfezione dei quali consiste in gran parte nell'unità dei loro poli. Per ben comprendere questo inconveniente, supponiamo che le sbarre AB muovendosi da A′ verso B′ sieno giunte in mezzo alla verga A′ B′. Sia *rz* una perpendicolare abbassata dal centro d' azione di A sulla verga: una molecola *s* di fluido boreale situata dalla parte destra di questa perpendicolare, è spinta potentemente ad avvicinarsi ad essa, in virtù dell' azione delle due sbarre AB; ma nel tempo stesso una molecola *s′* dello stesso fluido situata dalla parte sinistra della perpendicolare stessa, è attratta da una parte opposta, e quest' azione non è più distrutta dalla forza contraria del centro *b′*, come accadeva nel caso in cui le sbarre AB erano situate verticalmente. Ora può accadere che il fluido *s*,*s′* si sia talmente accumulato nello spazio che esso occupa, che quando in seguito le due sbarre continueranno il loro moto, la forza coibente della verga A′ B′ non lasci che respingano verso B′ se non una porzione del medesimo fluido. Dunque nello spazio *ss* si formerà un polo boreale, che a vicenda potrà far nascere un polo australe nello spazio vicino, situato verso B′, il che introdurrà in questo spazio una specie di forza perturbatrice, relativamente a quella dell' estremità B′.

Per evitare questo inconveniente, Coulomb dopo aver poste le due sbarre AB sul mezzo della verga A′ B′, inclinandole come faceva Epino, le trasporta in parte contraria l'una all'altra fino a una piccola distanza dall' estremità più vicina, quindi principia di nuovo, partendo sempre dal mezzo. In tal modo le forze dei centri *a′*, *b′* essendo più divise, senza lasciare d' esser cospiranti, non producono più quegli accumulamenti di fluido da cui resultano i punti conseguenti.

MODO DI CALAMITARE FORTEMENTE DUE SBARRE D'ACCIAIO.

916. Per il buon esito dell' operazione che abbiamo descritta, importa moltissimo avere a nostra disposizione due sbarre dotate di una potente virtù magnetica; e possiamo sempre procurarcele per mezzo del metodo indicato. Per ottener ciò si prendono quattro sbarre eguali e simili, due almeno delle quali debbono avere un principio di magnetismo. Si dispongono le altre due parallelamente fra loro come M, N (*fig.* 18), e si applicano alle loro estremità due parallelepipedi T, T di ferro dolce, in modo che la riunione di tutto questo presenti la figura d'un rettangolo. Con una delle due sbarre R, S, che son già in stato magnetico, si comunica la stessa virtù ad una delle prime sbarre, come M, col metodo di Epino o con quello di Coulomb. Questa sbarra acquista alcuni poli situati come si vede nella figura, e già la sbarra N nell' esser messa

in comunicazione con la sbarra M per mezzo dei contatti, riceve essa pure un principio di magnetismo, e quindi ciascun de' suoi poli, come facilmente si comprende, corrisponde al polo contrario della sbarra M, come pure apparisce dalla figura. Dopo alcune confricazioni si volta la sbarra M, senza cambiare la disposizione dei suoi poli, e si ripete l'operazione sull'altra faccia. In egual maniera si fregano successivamente le due facce della sbarra N, osservando di rovesciare le situazioni dei poli delle sbarre R, S, perchè quelli della sbarra N hanno essi pure una situazione contraria a quella dei poli della sbarra M. Terminata questa operazione, si sostituiscono le sbarre R, S alle sbarre M, N, e per mezzo di queste si accresce la virtù di quelle. Quando ci accorgeremo che la comunicazione del magnetismo è giunta al massimo grado, preferiremo le sbarre che saranno state confricate l'ultime, per calamitare aghi d'acciaio o altri simili corpi.

Per ottener meglio questo effetto, si adoprano ancora le due sbarre come mezzi ausiliarii. Si dirigono allora queste sbarre sopra una medesima linea (*fig.* 19), a una distanza minore della lunghezza dell'ago che vogliamo calamitare, il quale porremo in un situazione *ab* che corrisponda all'intervallo fra le due sbarre, in modo che esso riposi su quelle con le sue estremità.

Se le sbarre M, N (*fig.* 18) avevano già un certo grado di magnetismo, è chiaro che bisognerà prima porle in situazioni analoghe a quelle rappresentate dalla figura, in cui i poli di nome diverso si corrispondono dalla stessa parte (68).

917. Supponiamo che con un mezzo qualunque le sbarre M, N sieno conservate in una situazione invariabile relativamente a se stesse e ad uno dei contatti T; e quindi sospesele così unite verticalmente in modo che il punto d'attacco sia dalla parte del contatto fisso, nel posto dell'altro contatto si ponga un pezzo di ferro dolce, armato inferiormente d'un uncino come quello che è sotto la calamita PS (*fig.* 20): sospendendo varii corpi a questo uncino, potremo valutare il peso che la calamita può sostenere in virtù della sua forza attrattiva. Su questo principio son costruite tutte

(68) Era noto che il ferro in virtù della percossa soltanto acquistava tal grado di magnetismo, da dirigersi naturalmente ai poli Nord e Sud. Il sig. Scoresby ha modernamente ottenuti effetti molto più energici, tenendo le verghe di ferro o d'acciaio, mentre le batteva, appoggiate verticalmente sopra altre già magnetizzate. In questa esperienza ha conosciuto che la percossa con colpi di martello, tende a ridurre in uno stesso stato magnetico i diversi corpi a contatto, dando proprietà magnetiche a quelli che non le avevano, ed accrescendole in quelli in cui erano poco energiche, a scapito di quelli nei quali erano più forti. *Bulletin des Sciences Mathém., phys. et chimiques.* Aprile 1824. p. 228.

le calamite artificiali; e non v'è altra differenza se non che in vece delle sbarre M, N (*fig:* 18), si fa uso di due fascicoli di lame d'acciaio, calamitate prima separatamente, e unite quindi in modo che in ciascun fascicolo esse sieno contigue per i poli dello stesso nome. Coulomb ha fatto eseguire alcune di queste calamite che pesavano circa dieci chilogrammi ossia 20 libbre, e che avevano una forza di circa 50 chilogrammi o 100 libbre (*a*). Nelle piccole calamite è ancor maggiore il rapporto fra il peso dell'apparecchio e il peso della carica. Ingen-Housz cita una piccola calamita che sosteneva più di cento volte il suo proprio peso, e aggiunge che Knigt gli aveva detto che poteva accrescersene ancora la forza (*b*).

Delle armature.

918. Nelle calamite naturali che si sottopongono all'esperienza quali sono state tratte dal seno della terra, non si osserva ordinariamente che un debol grado di magnetismo, che pur anco si indebolisce col tempo. Nacque dunque l'idea di unire ad esse certe lastre di ferro dolce, chiamate *armature*, le quali essendo sottoposte continuamente all'azione dei poli a cui sono applicate, esercitano su questi una reazione capace non solo di conservare ad esse la loro virtù, ma ancora di farla crescere in un grandissimo rapporto.

919. Prima di armare una calamita, si taglia in figura di parallelepipedo rettangolo PS (*fig.* 20) in modo, che se immaginiamo un piano che passi a egual distanza dalle due facce opposte, parallelo ad esse, le due metà intercette da questo piano saranno in due stati diversi di magnetismo come quelle di una sbarra calamitata. Ciascuna armatura fh o $f'h'$ ha la forma di una squadra, di cui un braccio f, f' che è più lungo dell'altro, e che si chiama la *gamba* dell'armatura, si applica ad una delle facce suddette, e l'altro braccio h, h', che si dice il *piede* dell'armatura, si applica alla faccia adiacente, che può considerarsi come la base del parallelepipedo; e questa base non è coperta dall'armatura se non per pochi millimetri di spazio.

920. Analizziamo ora l'effetto dell'armatura che corrisponde, per esempio, al polo B della calamita. La forza di questo polo tende a scomporre il fluido naturale dell'armatura, attrae il fluido australe nelle parti della grossezza dell'armatura più vicine alla calamita, e respinge il fluido boreale nelle parti più lontane; e poichè essa opera più efficacemente sulla gamba f, il fluido australe si porterà a preferenza nella

(*a*) *Mem. de l'Acad. des Sc.*, 1789. p. 505.
(*b*) *Nouv. Exper. et Observat. sur divers objets de Physique*, t. 1. p. 329.

grossezza di questa, e il fluido boreale sarà respinto in gran parte nel piede h, tanto dall' azione della calamita, quanto dalla forza repulsiva scambievole delle sue proprie molecole.

Il piede dell'armatura acquisterà dunque la specie di magnetismo che esiste nella parte corrispondente della calamita, cioè il magnetismo boreale. Con un simile raziocinio si proverà che accadono gli effetti contrarii relativamente all'altra armatura.

Ma la gamba ancora col suo magnetismo australe attrae nuova quantità di fluido sul polo boreale della calamita, al quale effetto non si oppone che leggermente l'azione opposta del piede dell'armatura, che è a una maggior distanza. Il piede quindi acquisterà un aumento di forza, e da questa combinazione d' azioni reciproche dipende in generale il vantaggio che hanno l'armature, di aggiungere un nuovo grado di attività alla forza naturale delle calamite.

921. La gamba dell'armatura deve essere di una giusta grossezza, poichè se fosse tanto sottile che il polo adiacente della calamita fosse capace di attrarvi una nuova quantità di fluido, nel caso che fosse più grossa, essa non produrrebbe tutto il suo effetto: e se fosse troppo grossa, sicchè oltrepassasse i limiti a cui può estendersi il fluido attratto dal polo vicino, l'altro fluido respinto dallo stesso polo, passando in parte nel resto della grossezza, vi produrrebbe un magnetismo simile a quello dello stesso polo, che con la sua reazione su questo polo si opporrebbe all'effetto principale. Vi è dunque un certo grado di grossezza, che relativamente alla gamba dell'armatura, produce la massima quantità di magnetismo contrario a quello del polo adiacente, e relativamente al piede, la massima quantità di magnetismo simile a quello dello stesso polo: dunque in questo grado di grossezza, che non si può determinare se non con la pratica dall'artista, consiste la maggior perfezione di una calamita artificiale.

5. DEL MAGNETISMO DEL GLOBO TERRESTRE.

922. Paragonando i fenomeni naturali del magnetismo con quelli dell'elettricismo, si osserva un'assoluta differenza fra le modificazioni dei fluidi che producono queste due classi di fenomeni, i quali dall'altra parte hanno pure fra loro moltissima analogia. Quelli che appartengono all'elettricismo non sono sensibili se non in circostanze locali e variabili, e nascono ordinariamente in mezzo alle meteore, le quali parimente non hanno che un'esistenza passeggiera. Il magnetismo esercita un'azione universale e durevole, che si riferisce a certi punti determinati, che non varia se non con un progresso lento e graduato, e che ha la sua sede nel

globo stesso che abitiamo. Son tanto generali i suoi fenomeni, che son divenuti il soggetto di continue osservazioni le quali si ripetono in tutte le parti del mare; per il magnetismo tutti i navigatori son fisici, e non cessano mai di osservare attentamente quell'ago che sembra come animato da questo fluido, e che è capace di servir loro di guida fin nelle più remote regioni.

Declinazione dell'ago calamitato.

923. Prima di indicare le opinioni dei fisici sulla causa del magnetismo naturale, vediamo quali osservazioni sono state fatte relativamente alla situazione dell'ago calamitato. Quando si dice che, essendo esso sospeso liberamente, una delle sue estremità si volta sempre verso il nord, ciò non è vero se non in generale, ma ammette moltissime restrizioni. Se si trasporti un ago successivamente in varii punti del globo, ve ne sarà qualcuno in cui esso coinciderà esattamente con la linea condotta dal mezzo-giorno al nord, ossia col meridiano del luogo; ma negli altri punti esso si scosterà da questa linea ora verso l'oriente ora verso l'occidente, e se ne scosterà più o meno secondo la diversità dei luoghi. Questa deviazione si chiama *declinazione*.

Per misurare la declinazione, si suppone un piano verticale che passa per la direzione dell'ago. Il circolo che coincide con questo piano si chiama meridiano magnetico (§. 873), e l'angolo formato da questo meridiano col meridiano terrestre che appartiene allo stesso luogo, è l'*angolo di declinazione*.

Inclinazione.

924. L'ago è soggetto a un'altra specie di deviazione. Se prima d'esser calamitato, stando in equilibrio sul suo pernio, si trovava situato in un piano esattamente parallelo all'orizzonte, dopo essere stato calamitato si porrà in una situazione più o meno inclinata a questo piano, eccettuati alcuni punti della terra, nei quali resterà nel primitivo parallelismo. Questa seconda deviazione si chiama *inclinazione*.

Variazione nella declinazione.

925. Un viaggiatore il quale parta da un punto in cui la declinazione è nulla, e vada verso il nord o verso il sud, potrà passare per una serie di punti in cui essa sarà parimente nulla, ma questi punti non saranno sullo stesso meridiano, e formeranno una curva irregolare che avrà varie inflessioni.

926. Halley è stato uno dei primi a disegnare sopra un mappamondo questa serie di punti in cui la declinazione è zero, e che sono state chiamate *fasce senza declinazione*, delle quali ne sono state osservate finora tre dai viaggiatori per mare, e seguite fino a latitudini più o meno considerevoli.

927. Varia inoltre col tempo la declinazione nel medesimo luogo, e le sue variazioni non crescono nel rapporto stesso dei tempi, sicchè le fasce senza declinazione cambiano continuamente e di situazione e di figura. A Parigi la declinazione era zero nel 1666; il 12 floreale, an. 10, cioè 136 anni dopo, Bouvard la trovò di 22°, 3′ verso l'ovest.

928. Accade pur qualche volta che la declinazione resta interrotta, sicchè l'ago resta sensibilmente stazionario per un certo tempo: per esempio l'ago non fece verun moto a Parigi dal 1720 al 1724, nel qual intervallo restò costantemente a 13° del meridiano.

929. Paragonando fra loro le variazioni della declinazione su diversi punti del globo, si osserva che variano in rapporti diversi. In questo proposito merita di essere attentamente considerato un fatto osservato dal celebre Hallé, alla semplice vista della tavola di declinazioni pubblicate da Van-Swinden, il quale però non aveva osservato questo fatto medesimo. In questa tavola si distinguono tre punti in cui l'ago ha sofferte le maggiori declinazioni, e che son situati, 1.° nel mezzo del mare dell'Indie, fra 10° e 15° di latitudine meridionale, e fra 82 e 87° di longitudine orientale, partendo dall'Isola del ferro: in questo punto la variazione è stata fra 11° e 11° 15′, dal 1700 fino al 1756; 2.° nell'Oceano Etiopico da 5° di latitudine settentrionale sino a 20° o 25° di latitudine meridionale, e nell'intervallo di 10°, 15° e 20° di longitudine orientale; la variazione relativa a questa località è stata fra le epoche suddette da 10° a 10° 45′, principalmente sotto la linea e nell'estensione di 5° verso il sud; 3.° a 50° di longitudine settentrionale, e fra 17° di longitudine orientale e 10° di longitudine occidentale; nel qual punto e fra le epoche stesse vi fu una variazione fra 11° e 11° 45′.

Considerando ora sulla tavola di Van-Swinden questi tre punti, Hallé ha trovato che essi formavano come tre centri intorno ai quali i

numeri che indicano le quantità della variazione, scemano insensibilmente in proporzione dell'allontanamento da ciascuno di questi centri, sicchè ne resulta un nuovo ordine di osservazioni, che corrisponde al luogo in cui negli stessi anni la variazione è stata più debole.

Questi luoghi sono: 1.° tutto il mare di America, non compreso il golfo del Messico, cioè andando dalla punta orientale dell'Affrica sino all'altezza dell'isola Bermonda. Bisogna osservare inoltre che nell'Oceano, situato fra l'Affrica e l'America meridionale, le variazioni sono molto minori in grandezza verso le coste dell'America che verso quelle dell'Affrica; 2.° le vicinanze dell' isola del Madagascar, e una parte della costa del Zanguebar; 3.° la parte di mare ch'è al sud e al sud-est dell'isole della Sonda fra queste e la nuova Olanda; 4.° finalmente nel mare stesso verso il quarto grado di latitudine meridionale e il 97^mo^ di longitudine orientale, cioè nel mezzo dello spazio compreso fra l'angolo occidentale della nuova Olanda e la punta meridionale dell'Affrica. In tutti questi diversi luoghi le variazioni sofferte dalla declinazione dell'ago calamitato in questi 66 anni, non formano in tutto un sol grado (*a*).

Se fossero state fatte simili osservazioni nel mare Pacifico, nei mari del Nord, nei mari australi, e ancora nelle divisioni dei grandi mari, come il Baltico, il Mediterraneo, il golfo del Messico ec., si sarebbero forse trovati simili punti; e ognuno comprende quanto utile sarebbe per lo studio del magnetismo naturale una riunione di fatti dipendenti da un certo numero di centri, intorno ai quali si disponessero secondo l'ordine dei loro rapporti.

930. L'ago calamitato è soggetto inoltre, in certi punti, ad una particolare variazione giornaliera, di cui Van-Swinden ha osservato l'andamento con la sua solita attenzione e costanza, ed ha trovato che la legge di questa variazione è tale generalmente, che l'ago si porta verso l'Ovest la mattina sin verso il mezzo giorno, o poco dopo, per tornare quindi verso l'Est nella sera.

Questo doppio moto è soggetto a quattro modificazioni. La prima quando l'ago in tutta la mattina giunge progressivamente al massimo avanzamento verso l'ovest, e torna quindi a un tratto verso l'est nella sera, comprende un periodo unico rappresentato da O, E: nella seconda modificazione l'ago in principio si avvicina alquanto all'est nella mattina, e a questo piccolo moto succede il periodo ordinario, dimanierachè il corso è rappresentato in tal caso da *e*, O, E: la terza modificazione è quella in cui sul finir della sera il periodo ordinario è seguito da un piccolo moto verso l'ovest; lo che dà per espressione del moto totale

(*a*) *Encyclopédie méthodique; médécine, deuxième partie*, t. I, p. 418.

O, E, *o*; finalmente la quarta modificazione è composta in parte della seconda, e della terza, e la sua espressione è *e*, O, E *o* (*a*). L'ago dunque fa in tal modo continuamente certe piccole oscillazioni, da cui in generale resulta che la somma dei moti verso l'ovest supera la somma di quelli in parte contraria, sicchè la declinazione va crescendo dalla stessa parte.

931. Queste variazioni però che in mezzo alla loro incostanza hanno un andamento in certo modo regolare, sono pur soggette a certe specie di anomalie momentanee e passeggiere, che indicano realmente l'esistenza d'una causa perturbatrice. Le quali anomalie dai naviganti sono state indicate col nome di *impazzamenti*, e quando le scorgono dicono che l'ago è *impazzato* (*b*). È stato osservato ancora che l'ago è qualche volta agitato in un tempo burrascoso, e spesso ancora quando apparisce un'aurora boreale (*c*). Per altro non è stata finora determinata l'influenza immediata di questi fenomeni, considerati come cause degl'impazzamenti dell'ago.

Variazioni nell' inclinazione.

932. L'inclinazione dell'ago ha essa pure le sue variazioni, sensibili specialmente al cambiar di latitudine. Essa è quasi zero sotto l'Equatore, e quindi tutti i punti in cui l'ago è esattamente parallelo all'orizzonte, formano una curva che taglia l'equatore ad angoli piccolissimi, e che è stata nominata *equatore magnetico*. Cresce l'inclinazione se l'ago venga trasportato verso un polo o verso l'altro, allontanandosi così da questa curva, sicchè quella sua estremità che è verso il polo più vicino, si abbassa continuamente sotto la sua prima situazione. La massima inclinazione che si conosca è di 82°, e fu osservata da Phipps a 79° 44' di latitudine meridionale, e 131° di longitudine. A Parigi nel 1787 l'inclinazione era di 71°. Varia essa ancora col tempo in un luogo stesso; e può correggersene l'effetto, almeno per un certo numero d'anni e relativamente a un medesimo punto del globo, facendo diseguali i pesi delle due metà dell'ago nel rapporto necessario, onde la forza che trae in basso uno dei lati di questo ago, sia compensata dall'eccesso di peso della parte opposta, in modo che l'ago si ponga in una situazione orizzontale.

(*a*) *Rècueil. de Mém. sur l'analog. de l'Electric. et du Magnét. par Van-Swinden*, t. III, p. 4 e seg.
(*b*) *Ibid.* t. III, p. 2 e seg.
(*c*) *Ibid.* t. I, p. 466, e t. III, p. 187 e seg,

Variazioni nell' intensità delle forze che esercitano un' azione sull' ago.

933. Oltre queste due grandi classi di fenomeni, di cui gli uni appartengono alla declinazione, e gli altri all'inclinazione, ve n'è un' altra che comprende le variazioni a cni è soggetta l' intensità delle forze magnetiche che influiscono sui moti dell' ago, secondo la diversità delle sue situazioni relativamente al globo terrestre. Le osservazioni del celebre Humboldt hanno svelato su questo proposito un fatto singolarissimo, cioè che le forze magnetiche crescono notabilmente dall' equatore verso i poli (*a*).

Humboldt prima di partire da Parigi per il gran viaggio da cui ha riportato una raccolta di cognizioni relative alla fisica, non meno preziosa di quella di cni gli è debitrice la storia naturale, aveva sottoposta all'esperienza una bussola che faceva 245 oscillazioni in dieci minuti; la qual bussola non ne ha fatte che 211 al Perù in un tempo egnale, e l'andamento generale delle sue oscillazioni ha variato sempre nella stessa maniera, sicchè il loro numero scemava o cresceva all' avvicinarsi o all' allontanarsi dall' eqnatore.

Il medesimo fisico ha spesso fatto oscillar l' ago in due piani diversi, cioè in quello del meridiano magnetico del lnogo, e in un piano perpendicolare a qnesto meridiano, osservando sempre l' inclinazione dell' ago. Dopo il ritorno di questo dotto viaggiatore, La Place ha proposto un mezzo di determinare col calcolo l' inclinazione dell' ago, partendo dalle osservazioni relative all' oscillazione. A questo effetto basta decomporre la forza perpendicolare al meridiano magnetico, e paragonare la porzione di questa forza che esercita la sua azione sull' ago con la forza totale relativa al piano suddetto, col che abbiamo due dati che conducono alla solnzione del problema. Ora l' inclinazione calcolata, e quella trovata direttamente sono tanto conformi fra loro, che dobbiamo riguardare come giustissime le osservazioni di Humboldt sull' intensità delle forze magnetiche.

934. Le azioni di queste forze non si estendono solamente a tutti i punti della superficie del globo terrestre, ma si estendono ancora allo apazio che lo circonda; ed esperienze fatte da osservatori dotti al pari che attenti dimostrano, qnanto sia poco fondata l' opinione emessa da

(*a*) *Mémoires de MM. Humboldt et Biot sur les variations du Magnétisme terrestre à differentes latitudes*; Journ. de Phys. Frim. An. XIII, p. 249 e seg.

alcuni fisici, che l' intensità delle forze magnetiche diveniva insensibile a una certa altezza sopra la superficie del globo. Biot et Gay-Lussac nel loro viaggio aerostatico (§. 498) hanno trovato, che il numero delle oscillazioni dell'ago calamitato nelle alte regioni dell'atmosfera in un dato tempo, non differiva sensibilmente da quello che si osservava presso la superficie della terra. Questo resultamento è stato confermato in seguito in un nuovo viaggio, in cui Gay-Lussac solo è giunto ad una altezza di 7016met. ossia 3600t sopra il livello del mare, cioè al punto più elevato a cui sia mai giunto un viaggiatore o per terra o per l'aria; alla quale altezza un ago calamitato faceva quasi dieci oscillazioni in 42 secondi, come prima della partenza dell' osservatore (*a*). Quindi sembra che si debba credere, che la forza magnetica si sparge indefinitamente nello spazio, nel quale soffre tali diminuzioni, che diverrebbero sensibili a una certa altezza se ci fosse permesso di arrivarvi.

Della determinazione dei centri di azione magnetica del Globo.

935. Quanto abbiamo detto fin quì conferma sempre più l' idea che da gran tempo si era presentata alla mente dei fisici, cioè che il globo faccia le veci di una vera calamita; e le variazioni dell' ago relative specialmente alla sua inclinazione, la quale si osserva in parti opposte negli spazii compresi fra l'equatore magnetico ed i poli, indicano l'esistenza di due centri di azione, situati da una parte e dall' altra del centro di questo equatore. Ma ammessa quest' idea, quante ricerche laboriose e delicate restavano a farsi, per applicarla ai varii fenomeni del magnetismo, onde ravvisare in mezzo a tanti disordini nell' andamento dell' ago calamitato qualche legge capace di essere espressa col calcolo, e finalmente per distinguere le circostanze in cui le azioni di queste leggi appariscono in tutta la loro purità, da quelle in cui le influenze di diverse cause particolari, associandosi a queste medesime azioni, le modificano con certe perturbazioni locali e passeggiere!

Cerchiamo di dare un' idea dello scopo a cui debbono dirigersi le ricerche di questo genere. Supponiamo primieramente un filo magnetico O, L (*fig.* 21) che abbia i suoi due centri di azione in B e in A, e figuriamoci di porre sopra questo filo un ago calamitato *ab* sospeso liberamente. Da quanto abbiamo detto di sopra (§. 886) resulta, che l' ago si dirigerà in modo da coincidere con un piano verticale, che passerebbe per l' asse del filo magnetico. Inoltre, nel caso rappresentato

(*a*) *Journ. de Physiq.*, Frim. An. XIII. p. 457.

dalla figura, l'ago si inclinerà col suo polo australe *a* verso l'estremità O del filo magnetico più vicina al polo boreale B di esso.

936. Consideriamo ora le azioni che il filo esercita sull'ago per produrre questa inclinazione, e limitiamoci per ora a quelle che son relative una a una molecola di fluido australe situata in *a*, e l'altra a una molecola di fluido boreale situata in *b*: la prima è attratta dalla parte di *a* B dal polo boreale B, e respinta dalla parte di A *a* dal polo australe A. Sia *as* la quantità dell'attrazione, e quella della repulsione sia *ar*, situata sul prolungamento di A *a*, quindi compiamo il parallelogrammo *arks*: in tal caso la molecola in virtù delle due forze che operano sopra di lei, tende a muoversi secondo la diagonale *ak* di questo parallelogrammo. Per mezzo d'una simil costruzione potremo rappresentar l'attrazione che il polo A esercita sulla molecola boreale situata in *b*, con una certa porzione *bx* della linea *b*A, e la repulsione del polo B con *bg*, presa convenientemente sul prolungamento di B*b*. Dunque se compiamo egualmente il parallelogrammo *bghx*, la molecola di fluido boreale si muoverà secondo la diagonale *bh*, che sarà notabilmente diversa dall'altra *ak* tanto in direzione quanto in lunghezza, e l'inclinazione dell'ago passerà per la resultante comune delle due diagonali.

937. Fin qui abbiamo supposto che la lunghezza dell'ago abbia un rapporto sensibile con quella del filo OL, come nelle esperienze magnetiche ordinarie. Ma se vogliamo ora ridurre il sistema d'azioni presentato dalle citate esperienze a quello che resulta dal magnetismo naturale, dobbiamo figurarci che queste azioni si esercitino a distanze quasi infinite, in paragone di quella che esiste fra i due poli *a* e *b* d'un ago magnetico, dimanierachè le due linee B*a*, B*b*, o A*a*, A*b* che rappresentano le direzioni delle forze d'uno stesso polo B o A, si riguardano come se si confondessero; quindi dovrà essere $bg = as$, e $bx = ar$.

Ciò premesso, sia GPK (*fig.* 22) la circonferenza d'uno dei meridiani magnetici, GK l'asse dell'equatore magnetico, e B, A i due centri d'azione del Globo situati su questo asse a distanze eguali dal mezzo C. Un ago posto in un punto z vicino alla superficie del Globo, avendo una lunghezza quasi infinitesima in proporzione della sua distanza da ciascun centro d'azione B o A, l'effetto delle forze esercitate da questi centri per diriger l'ago sarà lo stesso, come se tutte le molecole boreali del fluido di questo ago fossero concentrate in due punti *a* e *b* contigui in z. Ora in tal'ipotesi le diagonali *a*K, *b*K, una delle quali rappresenta il moto del fluido australe dell'ago, e l'altra quello del suo fluido boreale, sono eguali e situate sulla medesima direzione; ed è chiaro che questa direzione è quella che prenderebbe un ago magnetico sospeso liberamente. Per determinarla basta dunque aver la resultante

delle due forze che si agiscono nella direzione di Bz e Az sopra una sola molecola di fluido o boreale o australe.

938. Biot combinando le osservazioni fatte sull'inclinazione dell'ago dal celebre Humboldt in diversi punti del Globo, ne ha dedotta per mezzo del calcolo la conseguenza, che i due centri d'azione B e A sono a una distanza infinitesima dal centro C, sicchè, secondo la stessa espressione di lui, si possono riguardare come posti in qualche maniera in una stessa molecola.

Questa distribuzione non è conforme a quella che sembrava indicata da un'osservazione fatta nel 1819 dal capitano Parry nel suo viaggio per le regioni polari. Si era egli inoltrato a 74°, 45' di latitudine, e si trovava oltre il 100mo grado di longitudine occidentale, quando vide che il giglio con cui terminava da una parte l'ago della sua bussola, e che prima era voltato verso il Nord, si voltava verso il Sud, lo che secondo l'osservazione di questo navigatore provava che era allora al Nord del polo magnetico del Globo (*a*).

Questa conseguenza è analoga a quella che si deduce da un'esperienza che citammo altrove (§. 895), nella quale si fa avanzare un ago di bussola verso una delle estremità d'una sbarra magnetica, in una direzione parallela all'asse di questa sbarra. Arrivato a poca distanza da questa estremità, esso si volta, perchè allora si trova situato sopra il centro d'azione verso il quale era diretto il suo primo moto. Questo resultamento tendeva a far credere, che i poli magnetici del globo fossero a una gran distanza uno dall'altro, secondo l'opinione di quelli che rassomigliano l'azione del globo stesso, almeno in generale, a quella delle calamite ordinarie, opinione che sembra esser confermata dall'osservazione del capitano Parry.

Eguaglianza delle forze che traggono in parte contraria un ago calamitato.

Lo studio del magnetismo naturale ha condotti ancora i fisici ad altri resultamenti di osservazioni, i quali essendo costantemente i medesimi in tutti i luoghi, sono stati adottati come principii, che sono stati applicati con vantaggio, specialmente nella costruzione delle bussole; e fra tali resultamenti ne sceglieremo tre che sono i più importanti.

939. Quando un ago calamitato è sospeso liberamente ad un filo, il suo polo australe è tratto verso il Nord, e il boreale verso il Sud; ed è chiaro che se variassero in intensità le due forze che operano sull'ago, essendo

(*a*) *Annal. de Chimie et de Physiq.*, t. XV., decem. 1820, p. 435.

sempre la lor resultante sopra una sola linea retta, l' ago resterebbe costantemente su questa medesima linea. Ma l' osservazione prova ancora che le due azioni le quali traggono l' ago in due parti opposte, sono sensibilmente eguali, in qualunque punto della terra si trovi l' ago stesso. Ed è questa una conseguenza necessaria di un' esperienza di Bouguer, il quale avendo sospeso a un filo per il mezzo un ago non calamitato, nel qual caso la direzione del filo era verticale, e quindi avendo calamitato l'ago, osservò che il filo restava nella sua situazione. Coulomb ha dedotta la stessa induzione dall' osservare che il peso dell' ago dopo essere stato calamitato restava lo stesso di prima: ed è chiaro infatti che se una delle due azioni superasse l' altra, il suo eccesso potrebbe considerarsi come una forza particolare, la direzione dalla quale facendo un angolo con quella della gravità, produrrebbe un moto composto, sicchè l' ago non eserciterebbe sulla bilancia la stessa pressione che quando non era peranco calamitato.

940. Da quanto abbiamo detto di sopra (§. 936) si comprende facilmente la ragione di questo fatto; poichè dicemmo che potendo riguardarsi i poli magnetici B, A del globo terrestre come se esercitassero un'azione sopra un' ago posto in z (*fig.* 23), da distanze che sono come infinite, relativamente alla lunghezza di questo ago, le diagonali *ak*, *bh'*, la prima delle quali rappresenta il moto del fluido australe dell'ago, e la seconda il moto in parte contraria del fluido boreale, sono eguali e situate sopra una medesima direzione. Da ciò infatti segue che l' ago, la situazione del quale coincide con la linea *kh*, ha i suoi due poli egualmente tratti in parti contrarie.

Forza direttrice dell' ago.

941 Per far ora comprendere in che consista questo secondo resultamento, supponiamo che avendo tolto un ago dalla situazione che aveva nel suo meridiano magnetico, si lasci quindi libero, e si vedrà che subito tende a porsi di nuovo nella sua prima situazione; e questa tendenza sarà l' effetto delle differenti forze che in questo momento operano obliquamente alla lunghezza dell' ago. Ma supponendole decomposte, si può sostituire ad esse una sola forza perpendicolare all'ago, e applicata ad un punto situato fra il mezzo di questo ago e l' estremità voltata verso il polo più vicino. Questa forza è quella che si chiama *forza direttrice dell'ago*; e dall' osservazione resulta che essa è proporzionale al seno dell' angolo che fa l' ago disturbato dalla sua direzion naturale con questa direzione medesima.

942. Coulomb ha ottenuto questo resultamento in una maniera analoga a quella, con cui aveva determinata la forza elettrica messa in equilibrio con la forza di torsione d'un sottilissimo filo metallico (§. 607). Rammentiamoci che in eguaglianza di circostanze la forza di torsione è proporzionale all' angolo di torsione, ossia al numero di gradi che percorre un punto qualunque preso sulla superficie del filo mentre questo vien torto. Ciò premesso, essendo l'ago in principio liberamente sospeso ad un filo metallico esente da qualunque torsione, Coulomb imprime a questo filo una torsione di alcuni gradi: allora l'ago si allontana dal suo meridiano magnetico, finchè la forza direttrice che tende a ricondurvelo sia in equilibrio con la forza di torsione. L'osservatore misura l'angolo che fa allora l'ago con la sua prima direzione, quindi accresce la torsione per un certo numero di gradi, e in tal caso l'ago si allontana ancora più dal suo meridiano magnetico, e nel tempo stesso la forza direttrice che tende a farvelo ritornare si trova accresciuta, perchè le forze di cui essa è la resultante operano in direzioni meno oblique alla lunghezza dell'ago. Terminata la torsione l'ago si pone nuovamente in quella situazione, in cui la sua forza direttrice si trova tuttora in equilibrio con la forza di torsione, la misura della quale è la prima torsione, aggiuntovi l'aumento che ha ricevuto; ma però si trova che il numero di gradi che misurano le due torsioni, son proporzionali agli angoli che faceva l'ago con la sua prima direzione, nelle due situazioni da cui è nato l'equilibrio.

943. Il terzo resultamento non è che un corollario del precedente. Qualunque sia la direzione delle forze reali che esercitano un'azione su i diversi punti d'un ago, per riportarlo al suo meridiano magnetico quando ne è stato allontanato, possiamo sempre supporre una resultante di queste forze parallela al meridiano magnetico; ed è chiaro che questa resultante deve passare per un punto posto nella metà dell'ago che corrisponde al polo nord del Globo, se l'esperienza si fa in una delle regioni boreali, o al polo sud nel caso contrario. Ora ammesso come un fatto, che le forze direttrici son proporzionali ai seni degli angoli di allontanamento, si trova che quella resultante è una quantità costante, che passa sempre per un medesimo punto dell'ago.

944. È facile il provare quanto sia giusta questa conseguenza. Supponiamo che nck (*fig.* 24.) essendo la direzione dell'ago situato nel suo meridiano magnetico, una forza qualunque abbia fatto prendere a questo ago la direzione lcf: la forza direttrice può considerarsi come una potenza applicata all'estremità f della leva cf. Rappresentiamola con fz perpendicolare a cf; e se per il punto f conduciamo fd parallela ad nk, la resultante di tutte le forze che operano sull'ago, consi-

derata come parallela al meridiano magnetico, coinciderà con fd. Conduciamo per il punto z la linea zd parallela a fc, fin che incontri fd, e per il punto f il seno fg dell'angolo fck; il triangolo dzf essendo simile al triangolo cfg, avremo $fg : fz :: cf : df$, ossia $\frac{fg}{fz}=\frac{cf}{df}$.
Ma il primo rapporto è costante, perchè la forza direttrice è proporzionale al seno dell'angolo fck, dunque è pur costante il secondo rapporto; e poichè cf è il raggio, la resultante df sarà similmeute una quantità costante che passerà sempre per il punto f dell'ago.

945. Reciprocamente se la resultante di tutte le forze che operano sull'ago, presa parallelamente al meridiano magnetico, è una costante, qualunque sia l'allontanamento dell'ago da questo meridiano, le forze direttrici saranno proporzionali ai seni degli angoli di allontanamento. Per ben comprendere come questa resultante deve sempre essere una costante, basta riflettere che i poli magnetici del Globo esercitano le loro azioni da distanze quasi infinite dall'ago. Supponiamo in fatti che l'ago ab (*fig.* 25) essendo primieramente nella direzione $k'h'$, quale appunto era rappresentata nella figura 22, prenda una nuova direzione gu in modo da continuare a fare lo stesso angolo con l'orizzonte: figuriamoci un piano che passi per le linee ab, gu (*fig.* 25), e se per il punto g conduciamo nel piano stesso la linea ig parallela ed eguale a ok', questa linea ig rappresenterà la resultante delle forze che operano obliquamente sul punto g, per condurlo di nuovo verso il punto a. Ora la forza nella direzione di ig si decompone in due altre, l'una ip parallela ad og, e l'altra ie perpendicolare ad og: dunque se compiamo il parallelogrammo $ipge$, la linea pg rappresenterà la parte della forza ig che opera direttamente per spingere il punto g verso il punto a. Dall'altra parte sia lu, parallela ed eguale a oh', la resultante delle forze che agiscono obliquamente sul punto u per condurlo di nuovo verso b: per mezzo d'una decomposizione simile alla precedente, la linea ut perpendicolare ad ot rappresenterà la parte della forza obliqua lu, che produce l'effetto di spingere il punto u verso b.

Ora poichè le forze che operano sull'ago concorrono tutte a farlo girare dalla stessa parte, per avvicinarlo nuovamente alla sua prima situazione, possiamo considerarle come applicate al punto g dell'ago, raddoppiando col pensiero l'intensità delle azioni dirette per ig e ie. In tal caso ig rappresenterà la resultante di tutte le forze che muovono l'ago preso in una direzione parallela alla direzione ab che coincide col meridiano magnetico, e ie o pg rappresenterà la forza direttrice. Ma poichè in tutti i cambiamenti di direzione a cui va soggetto l'ago nell'allontanarsi dal meridiano magnetico, le situazioni dei suoi poli

non variano che pochissimo, relativamente alle distanze dei poli magnetici del globo, è chiaro che la linea *ig* è una costante. Dalla stessa costruzione che si osserva nella figura, si può dedurre ancora la conseguenza, che le forze direttrici sono proporzionali agli angoli di allontanamento; poichè se si prende *ig* per raggio, relativamente all'angolo *egi*, o al suo eguale *abg*, la linea *ie*, che rappresenterà la forza direttrice, essendo il seno del primo di questi angoli, sarà proporzionale al seno del secondo angolo, che misura quanto l'ago si è allontanato dal meridiano magnetico.

DIFFERENZA FRA L'AZIONE DEL GLOBO E QUELLA D'UNA CALAMITA ORDINARIA SOPRA UN AGO CALAMITATO.

946. Ciò che abbiamo detto può servire a spiegare una contraddizione apparente che si osserva nell'azione del globo, paragonata con quella della calamita ordinaria. Se si metta un ago calamitato sopra un pezzo di sughero galleggiante sull'acqua, e a una certa distanza si ponga una calamita d'una forza anco mediocre, con un polo voltato verso il vaso in cui galleggia il sughero, l'azione di questa calamita produrrà due effetti: primieramente l'ago si muoverà in modo da presentare il suo polo di nome contrario al polo della calamita che è in faccia al vaso, a mal grado che esso venga distolto da una forza esterna da questa situazione; e nel tempo stesso si porterà verso l'orlo del vaso per avvicinarsi alla calamita. Che se si ripeta questa esperienza, lasciando che il solo globo terrestre eserciti sull'ago la sua azione magnetica, l'ago si dirigerà costantemente con un suo polo al polo contrario del globo, ma non mostrerà veruna tendenza per avvicinarsi ad esso, come nell'esperienza precedente.

947. E passa questa differenza fra i resultamenti di queste due esperienze, perchè, come abbiamo detto, i centri d'azione del globo sono ad una distanza quasi infinita dall'ago; e quindi la differenza fra le forze che tenderebbero a trarlo in due parti opposte è zero, e quindi la tendenza dell'ago a dirigersi verso il polo del Globo, la quale dipende da questa differenza, deve parimente ridursi a zero. Non può dunque accadere lo stesso quando l'ago è attratto da una calamita che opera su i poli di esso a piccolissime distanze: notabile diviene in tal caso la differenza fra le due azioni, e ne resulta un'azione che fa avanzar l'ago verso la calamita. Dall'altra parte abbiam visto che il globo esercita sopra un ago magnetico *gu* (*fig.* 25), per riportarlo alla sua prima direzione, forze cospiranti nelle direzioni *ie* e *tu*; e in tal caso la molta distanza

non impedisce che queste forze conservino tanta intensità da produrre questo effetto.

DEL DOPPIO MAGNETISMO.

948. Il ferro providamente sparso dal Creatore nel seno della terra, con un'abbondanza proporzionata all'utile che ci apporta, non ha un'esistenza limitata soltanto alle miniere da cui lo prendiamo nel suo stato naturale per i nostri usi, ma si introduce per tutto, ed empie per così dire la natura con le sue modificazioni. Si unisce intimamente o per mezzo di mescolanza agli altri metalli; è sparso in grani o in particelle impercettibili in una moltitudine di pietre; serve di principio colorante nei marmi, nell'agate e in una gran parte di pietre preziose, in cui combinato con differenti quantità d'ossigene percorre tutti i gradi della scala dello spettro solare.

949. I fisici e i mineralisti per riconoscere nei corpi la presenza del ferro, quando sfugge all'occhio, o è coperto dall'ossidazione, si servono d'una piccola sbarra magnetica posta sopra un pernio, traendo partito dalla proprietà che essa ha di obbligare il ferro a palesarsi da se stesso. Noi preferiamo a questa sbarra un ago in forma di losanga, perchè è più mobile e più sensibile all'azione del ferro.

950. Ma l'uso di questo ago è limitato, e ancor più che se restasse abbandonato alle proprie sue forze. Due cause scemano la sua tendenza naturale per obbedire all'azione dei corpi che gli vengon presentati: una è la resistenza prodotta dalla confricazione nel punto di sospensione, e l'altra, che influisce ancor più, dipende dall'azione che la forza magnetica del globo esercita sull'ago per conservarlo nella sua direzione, e che apparisce dal moto che fa l'ago stesso per prendere di nuovo la sua prima situazione ogni qual volta ne venga distolto. Si può distruggere quasi totalmente l'effetto della prima causa, sospendendo l'ago sopra un pernio terminato in punta sottilissima, ma sussisterà pur sempre l'effetto dell'altra causa: e se la quantità di ferro contenuta nel corpo che si sperimenta è tanto piccola, o talmente carica d'ossigene, che la sua azione sia inferiore alla forza che conserva l'ago nella sua situazione, esso resterà immobile.

951. Riflettendo su questi effetti, ci è venuto in pensiero di scemar la forza che si oppone al moto di rotazione dell'ago, e scemarla in modo da render l'ago stesso sensibile all'azione della minima molecola di ferro, che non ne eserciterebbe veruna sopra di esso nelle esperienze ordinarie; e tanto più crediamo di dover qui indicare il mezzo di cui ci siamo serviti per ottener questo intento, quanto che con questo si ag-

giunge ai già noti un nuovo fenomeno magnetico, e meglio si sviluppa la teoria dei medesimi. Sia *mr* (*fig.* 26) l'ago sospeso sul suo pernio, nel qual caso avrà il suo polo *a* voltato verso il nord, e il polo *b* verso il sud. Mettiamo a qualche distanza dall'ago, e allo stesso livello, o da una parte o dall'altra, per esempio da mezzo giorno, una sbarra calamitata MR, diretta per quanto è possibile sul prolungamento dell'ago, e con i poli A, B rovesciati relativamente ai poli di esso, e portiamo quindi adagio adagio la sbarra verso l'ago: arrivata questa a un certo punto, quello si scosta dalla sua direzion naturale, e principia a girare intorno al suo centro; e se non esistesse la forza del globo che obbliga l'ago a tornare nella sua prima situazione, esso farebbe una mezza rivoluzione intorno a se stesso, come nell'esperienza altrove citata (§. 878). Per altro non si scosterà dalla sua prima direzione se non fino ad un punto, in cui sieno in equilibrio e la forza che tende a ricondurvelo, e quella della sbarra per allontanarnelo. Supponiamo che accada questo equilibrio nel momento in cui il polo *a* dell'ago ha descritto l'arco *a e* (*fig.* 26), sicchè l'ago stesso si sia posto nella direzione *eh* (*a*), e analizziamo le azioni delle forze da cui nasce questo equilibrio. Il polo boreale N del globo, che dobbiamo supporre a grandissima distanza, attrae il polo australe *a'* dell'ago, e ne respinge il polo boreale *b'*; e poichè queste due forze cospirano per far retroceder l'ago sull'arco *ea*, per maggior semplicità possiamo col pensiero ridurle a una sola forza che operi per attrazione sul polo *a'*, accrescendo in proporzione quella che in principio riguardavamo soltanto come capace di attrarre col suo proprio fluido lo stesso polo. Dall'altra parte il polo australe S del globo esercita azioni analoghe sui due poli dell'ago, cioè attrae a se il polo boreale *b'*, e respinge in parte contraria il polo australe *a*. Ed è chiaro che queste due forze cospirano come le prime per far retrocedere l'ago sull'arco *ea*, sicchè se per semplicità ancora maggiore, le aggiungiamo col pensiero alla forza che ora supponiamo applicata al polo *a'* dell'ago, tutto accaderà come se sul polo non operasse se non una sola

(*a*) Ci è sembrato che quando l'arco percorso dall'ago è dalla parte dell'osservatore, l'esperienza riesca più facilmente che quando è dalla parte opposta, il che accaderà nel caso rappresentato dalla figura, se si supponga l'Osservatore in O. Per aver questa disposizione, dopo aver posta la sbarra MN sul prolungamento della direzione dell'ago, come già abbiamo detto, l'osservatore la muoverà dalla parte sua, parallelamente a se stessa, per 5 o 6 millimetri, quindi la porterà adagio adagio verso l'ago, mantenendola sempre nella stessa direzione, finchè l'ago stesso cominci a muoversi visibilmente sull'arco *ae*, dopo di che la porrà di nuovo nella sua prima situazione, e proseguirà ad avvicinarla all'ago, il quale proseguirà esso pure il suo corso per la medesima direzione.

forza attrattiva, che equivale a tutte le forze reali a cui è soggetto l'ago per parte del globo.

Relativamente poi all'azione della sbarra sull'ago, è chiaro che l'attrazione del polo B sul polo a' di questo ago, e la sua repulsione sul polo b', producono concordemente sul polo a' una tendenza a descrivere l'arco ei. Dall'altra parte la repulsione del polo A della sbarra sul polo a' dell'ago, e la sua attrazione sul polo b', producono nel polo a' una tendenza a muoversi in parte contraria sull'arco ea. Ma le seconde forze, a motivo d'una maggiore obliquità e di una maggior distanza, hanno un'azione più debole delle prime, le quali in conseguenza restano superiori.

952. Frattanto possiamo in questo caso ancora servirci del semplicissimo mezzo di cui ci servimmo per le azioni del globo sull'ago, riducendo ad una sola forza, che supporremo applicata al polo a', tutte le forze con cui la sbarra opera sull'ago medesimo. Per eseguire questa riduzione bisognerà accrescere l'azione che il polo B esercita direttamente sul polo a', in proporzione di ciò che essa guadagna nell'esser secondata dall'azione dello stesso polo sul polo b', e scemarla in proporzione di ciò che le fanno perdere le azioni contrarie del polo A della sbarra su i due poli dell'ago.

Considerando dunque le cose sotto questo aspetto, l'ago si riguarda come mosso da due forze soltanto, applicate al polo a, di cui le azioni eguali e contrarie, una per far muovere l'estremità di questo ago nella direzione dell'arco ea, e l'altra per fargli descrivere l'arco ei si distruggono scambievolmente, sicchè l'ago resta in equilibrio. Se si prosegua a far fare alla sbarra piccoli moti verso l ago, dimanierachè il polo B passi successivamente in D, F, G, esso si scosterà sempre più dalla sua primitiva direzione; e nel tempo stesso crescerà l'azione del globo sul polo a', per condurre nuovamente l'ago a questa direzione, perchè essa si eserciterà sempre meno obliquamente, quanto più l'ago si avvicinerà alla direzione lx, perpendicolare alla primitiva direzione NZ, che è la più favorevole all'azione del globo; giacchè l'ago in tal caso si trova interamente voltato verso il polo nord di questo globo, nel quale risiede la forza che opera per farlo tornare alla sua prima situazione.

Ogni volta che vien fermata la sbarra, l'ago resta esso pure stazionario, poichè quanto la forza della sbarra si trova accresciuta per la diminuzione di distanza, altrettanto la forza del globo, che opera in modo contrario, si trova essa pure accresciuta perchè opera più obliquamente.

Ma quando l'ago sia giunto alla direzione lx, se si faccia muovere nuovamente la sbarra verso di esso, l'attrazione che esso esercita sul

polo *a* crescerà ancor più, e l'ago essendo costretto a porsi in una situazione *st* inclinata in modo contrario relativamente alla sua prima direzione N Z, la forza del globo scemerà, principiando di nuovo ad operare obliquamente; sicchè non potendo più stabilirsi l'equilibrio, l'ago proseguirà a girare, mentre resterà immobile la sbarra, finchè esso non si trovi nella sua prima direzione N Z; se non che la sua situazione sarà rovesciata, relativamente a quella che aveva naturalmente prima dell'esperienza.

Il momento più favorevole per presentare ad uno dei poli dell'ago un corpo che contenga una piccola quantità di ferro, sembrerebbe quello in cui l'ago coincide con la linea *lx*; poichè è chiaro che in questo caso in cui va scemando la forza del globo sull'ago, per poco che questo prosegua a muoversi circolarmente, una piccolissima forza può bastare per farlo deviare. Ma poichè sarebbe difficile trattenere la sbarra precisamente nel punto, in cui il minimo impulso che le venisse dato verso l'ago farebbe tornar questo alla sua prima direzione, basterà che la situazione dell'ago sia vicinissima a questo punto, senza però arrivarvi assolutamente; e in tal caso si porrà il corpo destinato all'esperienza in faccia al polo *l*, dalla parte della sbarra. Così l'attrazione del corpo sul polo a cui vien presentato, cospira con la tendenza di questo corpo per avanzarsi verso la sbarra, continuando il suo moto di rotazione. Qualche volta ci è accaduto di imbatterci appunto nella situazione della sbarra, corrispondente alla direzione dell'ago sulla linea *lx* (*fig.* 26.), e all'avvicinare un corpo che conteneva una piccola quantità di ferro, l'ago si muoveva, e compiva da se stesso il mezzo giro. Questo genere d'esperienze è stato indicato da noi col nome di *metodo di doppio magnetismo.*

953. Ognuno vede che questo metodo dà una grande estensione al carattere che si deduce dall'azione magnetica, per la distinzione di moltissime sostanze minerali, nelle quali si scorgono varie modificazioni che ha sofferte il ferro nell'unirsi con le loro molecole. Se si metta l'ago in equilibrio, apparisce nuovamente quest' azione in molte sostanze in cui il ferro è moltissimo ossidato, come quella varietà che volgarmente si chiama *Etite* o *Pietra d' aquila*, e le masse terrose d'un color bruno e giallastro. Per soddisfare quei Fisici che non conoscono queste varietà, e che desiderano verificar l'esperienza del doppio magnetismo, indicheremo loro per una tal' esperienza una di quelle sostanze minerali che tutti abbiamo spessissimo fra mano, cioè l'ottone, che è una lega di zinco e di rame, ma per lo più di quel rame che si cava da una specie di minerale, chiamato *rame pyritoso*, e che contiene una gran quantità di ferro, e però l'ottone, quando non sia stato purificato, contiene fra le sue molecole molte molecole ferrigne. Noi stessi abbiam presentato

all'ago, anco lasciandolo nella sua situazione naturale, candelieri, strumenti di Fisica e altri corpi d'ottone, e quasi tutti hanno prodotto nell'ago un moto distinto.

Non accade lo stesso degli spilli, i quali benchè formati con la stessa lega, pure a motivo del loro piccolo volume non hanno veruna azione sopra l'ago; e se pur qualche volta ne abbiamo trovati taluni che esercitavano una piccolissima azione, questi erano ben rari, e piuttosto accadeva che dopo averli lasciati immobili nella stessa circostanza, lo attraevano dopo qualche tempo visibilmente quando l'avevamo messo in equilibrio. Possiamo dunque servirci dell'ottone per esperienze comparative sulle due specie di magnetismo, variando il volume dei corpi che sperimentiamo, e quindi la quantità di ferro che essi contengono. Simili effetti possono ottenersi ancora con frammenti di vasi di un color rossastro nell'interno, composti di un'argilla mescolata con ferro ossidato, nel cuocere i quali questo ferro divien capace di esercitare un'azione sull'ago tanto nelle esperienze ordinarie, quanto per mezzo del doppio magnetismo; e qualche volta uno stesso frammento produce successivamente le due azioni con due punti diversi.

Non entra nel piano che ci siamo proposti l'esporre in questo luogo quanto il doppio magnetismo sia utile per far riconoscere certe pietre, a cui l'artista ha fatto perdere qualunque forma naturale, per ridurle in oggetti d'ornamento, le quali per la somiglianza del loro colore potrebbero ingannar l'occhio che ne giudicasse soltanto dall'apparenza (*a*); e citeremo un esempio soltanto dedotto da una delle più comunemente conosciute, cioè il granato, di cui il principio colorante è l'ossido rosso di ferro. Una parte dei pezzi tagliati da questa pietra, e quelli specialmente in cui il color rosso è alterato da una gradazione di oscuro, esercitano un'azione sull'ago nell'esperienza ordinaria; ma spesso quest'azione cessa, quando il colore della pietra più puro e più vivace la farebbe confondere con pietre diversissime, le quali non sono in verun modo capaci di magnetismo: e appunto in tal caso l'ago messo in equilibrio è attissimo a togliere ogni equivoco di tal genere.

(*a*) Vedi *Traité des caractères physiques des Pierres précieuses*, Paris 1817.

AZIONE DEL GLOBO SUL FERRO NON CALAMITATO.

Passiamo ora a considerare certi fenomeni in cui apparisce visibilmente il paragone fra il globo e le nostre calamite, relativamente alla facoltà che queste hanno di comunicare il magnetismo al ferro posto nella loro sfera di attività. L'azione del globo egualmente, che si estende nello spazio a immense distanze, è capace di produrre un certo grado di virtù magnetica nelle verghe di ferro e in altri simili corpi, che non hanno tanta forza coibente da opporsi a quest' azione.

954. Rammentiamoci di ciò che abbiamo detto (§. 936) relativamente a questa medesima azione su due molecole, una di fluido boreale, l'altra d'australe, per far muover la prima nella direzione *bh* (*fig.* 22), e l'altra nella direzione *ak*. Poichè la comunicazione del magnetismo dipende da simili moti che accadono in tutte le molecole magnetiche, situate nell'interno d'una verga di ferro, è chiaro primieramente, che la più favorevole situazione in cui questa verga acquisti il massimo grado di magnetismo, è quella che coincide con la direzione *kh*. Se quindi si supponga che la verga, restando sempre nel medesimo piano G P K, prenda un'altra situazione, come *mn* (*fig.* 27.), e se consideriamo le linee *o k*, *o h* che coincidono con la direzione primitiva, come le resultanti delle forze esercitate dal globo, nella più favorevol situazione, bisognerà in questo caso decomporre la forza *ok* in due direzioni, cioè *kx* perpendicolare ad *om*, e che non contribuisce nulla all'effetto, e *ox* che coincide con *om*, e che rappresenta la forza reale; cioè la forza *o k* si trova scemata nel rapporto di *ok* a *ox*. Se decomponiamo egualmente la forza *oh* in due direzioni, cioè *hl* perpendicolare a *on*, e *ol* che coincide con *on*, *ol* rappresenterà la forza che sola contribuisce a produrre l'effetto voluto.

Quanto più la verga si scosterà dalla situazione *mn*, prendendo una direzione *pr* che faccia un angolo ancor più ottuso con la prima, tanto più scemerà la quantità della forza reale *os*, o *oy*; e quando la verga sarà situata sulla linea *tz*, che fa un angolo retto con *kh*, la forza reale si troverà ridotta a zero.

Passato questo termine, se si accresce l'angolo che fa con *kh* la nuova situazione della verga, sicchè, per esempio, questa situazione coincida con *bd*, si rinnoveranno i medesimi effetti; cioè se si conducano le linee *kf*, *gh* perpendicolari una sopra *od*, l'altra sopra *ob*, *of* rappresenterà la forza che fa muovere il fluido australe verso *d*, e *og* quella che fa muovere il fluido boreale verso *b*.

Se si ponga la verga in un piano diverso da G P K (*fig* 22), si

vede chiaramente che la sua situazione più favorevole, relativamente a questo secondo piano, sarà quella in cui la sua direzione farà il minimo angolo possibile con la linea kh, e il magnetismo acquistato diverrà pure zero, quando la lunghezza della verga, restando nello stesso piano, farà un angolo retto con kh.

955. Possiamo verificare questi resultamenti con un'esperienza curiosa e semplice, e facile ad eseguirsi. Si prenda una sbarra di ferro dolce, e si tenga in una delle situazioni in cui l'azione del globo possa comunicarle il magnetismo. La più favorevol situazione a Parigi è quella che è inclinata circa 72° all'orizzonte, perchè appunto in questa situazione si porrebbe naturalmente un ago che avesse le due metà di egual peso, e che fosse mobile intorno ad un asse nel suo centro di gravità; ma la situazione verticale basta perchè riesca l'esperienza. Situata dunque la verga in tal modo, si presenti la sua estremità inferiore al polo australe d'un ago calamitato posto sopra un pernio, e si vedrà che essa respinge questo polo. Si porti quindi la verga in basso, finchè al medesimo polo dell'ago corrisponda l'estremità superiore di quella, e il polo allora sarà attratto; e se si rovescia la situazione della verga, i poli pure si trovano rovesciati, sicchè l'estremità che respingeva il polo australe dell'ago lo attrae, e quella che lo attraeva lo respinge. Poichè il ferro dolce non oppone che pochissima resistenza al moto interno dei due fluidi che si sono scomposti dal fluido naturale, il magnetismo che esso acquista non è che un effetto passeggiero, sicchè al semplice rovesciar della verga accade l'effetto contrario. La pronta alternativa delle attrazioni e delle repulsioni ha tal'apparenza di prestigio, che sul più bello dell'esperienza lo spettatore sospetterebbe forse nel Fisico un gioco di mano.

Si potranno ottenere simili effetti ancora con una semplice chiave, o con qualunque altro corpo composto di ferro dolce e di forma bislunga; ma quando tal corpo ha poca massa, bisogna servirsi di un ago poco calamitato, onde l'azione immediata di questo sul corpo stesso non disturbi l'azione del magnetismo naturale.

956. In un'altra maniera ancora può variarsi questa esperienza. Essendo primieramente la verga in situazione verticale, si porti la sua estremità inferiore fino a tal distanza dal polo australe dell'ago, che cominci ad apparire la repulsione, e tutto allora si tenga fermo; e conservando nella sua situazione l'estremità inferiore della verga, si faccia essa girare lentamente intorno a un punto in un piano perpendicolare alla direzione dell'ago. In pochissimo tempo si vede scemare la repulsione, dimanierachè l'ago si avvicinerà alla verga, e in fine si porrà di nuovo nella sua direzione naturale, nel momento in cui la verga sarà

situata ad angolo retto su questa direzione. Se allora si prosegue a far girare la verga, l'ago si porterà verso di quella per effetto dell'attrazione che sarà succeduta alla repulsione; e facendo oscillare leggermente la verga da una parte e dall'altra della situazione in cui non aveva verun' azione, si vedrà l'ago oscillare naturalmente, per lo che si scosterà e si avvicinerà a vicenda dall'estremità della verga.

957. Epino ha osservato, che battendo a colpi raddoppiati con un corpo duro una verga di ferro tenuta in una favorevole situazione, si veniva a secondare, relativamente a questa verga, l'azion del magnetismo terrestre. Le scosse impresse a questa verga da tali colpi, producono nella sua massa una specie di vibrazione generale, che ne rimuove un poco dal loro posto le particelle, e che scemando la loro forza coibente, rende più facile lo sprigionamento dei due fluidi e i loro moti verso le due estremità della verga.

E forse con un simil meccanismo arriviamo a calamitar gli aghi che erano tuttora in stato naturale, o a rovesciare i loro poli se erano già calamitati, sottoponendoli ad una forte scossa elettrica.

958. Dal grado di magnetismo che produce in una verga la sola azione del globo, i fisici hanno dedotto la soluzione di questo problema singolare: *calamitare una sbarra d'acciaio fino alla saturazione, senza il soccorso di alcuna calamita.* Si tratta primieramente di far prendere a una sbarra di ferro dolce un principio di magnetismo, mettendola in una situazione convenevole, relativamente al meridiano magnetico del luogo. Simili sbarre poi servono per calamitarne altre più dure, confricandole sulla superficie di quelle: con queste seconde se ne calamitano altre; e con un metodo analogo a quello di cui abbiamo parlato trattando della comunicazione del magnetismo (§. 909), si giunge a far acquistare a queste sbarre la massima forza magnetica.

959. Tutto questo può servire a spiegare certi fatti che in principio devono aver eccitata la maraviglia, come il magnetismo acquistato naturalmente da certe spranghe di ferro che stanno in una situazione costante sopra gli edifizii. La prima osservazione di questo genere che sia giunta a nostra notizia, è quella che fece il Gassendi relativamente all'asta che sosteneva la croce del campanile di s. Giovanni d'Aix in Provenza; e questo fenomeno è stato pure osservato sopra altre simili aste.

960. Non vi è forse ramo di fisica che provi più di questo, quanto si estendano e s'ingrandiscono le idee che si riferiscono ad una scienza, a misura che la scienza stessa si avanza verso la sua perfezione. Una calamita passava un tempo per una specie di maraviglia, tanto per la sua rarità che per i suoi effetti; e presentemente vediamo che tutti quegli

strumenti di ferro dolce che ad ogni momento abbiamo sotto occhio e fra le mani, vengono conservati in uno stato abituale di magnetismo polare dall' influenza del globo terrestre. Variabili soltanto sono i loro poli, e si rovesciano continuamente al cambiare di situazione dei corpi stessi da un momento all'altro.

Abbiamo parlato dell' azione che esercita il globo per comunicare un principio di virtù magnetica alle sbarre di ferro dolce, colle quali comunichiamo poi la stessa virtù ad altre sbarre d' acciaio. Invece di disporle semplicemente nelle direzioni che indicammo, possiamo ancora batterle con un martello a colpi raddoppiati, mentre le teniamo in una situazione verticale. Le scosse che esse ricevono da questi colpi, producono nella loro massa una specie di vibrazione generale, che rimuove alquanto le loro particelle, le scosta l' une dall' altre, e dando così maggior libertà al moto dei fluidi magnetici, rende più facile l' azione del globo per respingerli verso le estremità delle sbarre.

961. Relativamente poi agli strumenti di acciaio, che per la loro gran forza coibente sono capaci di resistere all' azione con cui il globo comunicherebbe a loro la virtù magnetica, quest' azione non cessa di produrre il suo effetto quando è secondata da circostanze particolari. Così le lime, le forbici, e altri strumenti che sono esposti a confricazioni, e a scosse capaci di mettere in moto le loro molecole, passano a poco a poco allo stato di magnetismo, e diventano capaci di attrarre piccole particelle di limatura di ferro.

Frattanto difficilmente si crederebbe, che l' influenza del globo fosse la sola causa del magnetismo che può acquistare il ferro senza l' intervento di una calamita. Sembra piuttosto che debba attribuirsi a una semplice causa meccanica quello che istantaneamente acquista in certe circostanze; e tale è quello che si osserva in un filo di ferro piegato, e torto in diverse maniere ad una delle sue estremità fino al punto di rompersi. Questa estremità presentata successivamente ai due poli di un ago calamitato ne attrae uno e ne respinge l' altro (*a*). La pressione che esercita la filiera sul ferro che l' artista fa passare per i suoi fori per assottigliarlo, può essa pure ridurre questo ferro allo stato di magnetismo polare; e ciò spesso accade particolarmente ai fili dello stesso metallo che compongono una parte delle corde del cimbalo.

Varie osservazioni provano che il fulmine è capace di produrre la virtù magnetica in una verga di ferro da esso colpita; e questa causa unita all' azione del globo, può concorrere a produrre nelle verghe che reggono le croci dei campanili il magnetismo di cui sopra parlammo.

(*a*) Prima dell' esperienza bisogna assicurarsi che il filo di ferro non sia già in stato magnetico, come potrebbe accadere in conseguenza di ciò che diremo.

Le scariche elettriche parimente hanno la proprietà di scomporre il fluido magnetico contenuto nel ferro, e di far passare questo metallo dallo stato naturale allo stato d'azione polare. Possiamo ottenere questo effetto per mezzo di un chiodo tenuto per il mezzo fra le pinzette, e colla punta a contatto col bottone di una boccia di Leida fortemente caricata, provocando la scintilla sulla piccola superficie piana che termina il chiodo dalla parte opposta, per mezzo di una palla dell' eccitatore che con l'altra comunica coll' armatura esterna della bòccia: con tal mezzo il chiodo acquista il magnetismo che produce effetti sensibilissimi, e che si conserva per molto tempo.

6. DEL MAGNETISMO DEL FERRO DI MINIERA.

Il ferro di miniera sparso nell' interno del globo con un' abbondanza proporzionata all' utile di questo metallo, che è il più prezioso di tutti, è stato il soggetto di varie osservazioni particolari, che confermano i principii da noi stabiliti, relativamente al modo di operare delle forze magnetiche.

962. È stato osservato talora che alcuni pezzi di calamita estratti dal seno della terra, e lasciati nella stessa situazione in cui erano nella miniera, avevano i loro poli situati in modo contrario a quello che avrebbero dovuto avere, se avessero acquistato il loro magnetismo per mezzo dell' azione di una calamita posta nel centro del globo, o dell'azione del globo stesso considerato come calamita. Per togliere ogni difficoltà che potrebbe resultarne, basta semplicemente supporre con Epino, che nelle calamite di miniera si formano naturalmente varii *punti conseguenti*, analoghi a quelli che qualche volta osserviamo nel ferro che calamitiamo nel modo ordinario (§. 900.). Così si intenderà come possa accadere, che quando si stacca un frammento di questo minerale, in cui esiste una serie di punti conseguenti, la separazione accade in modo che i due poli con cui termina il frammento, sono voltati in modo contrario a quello dei poli di un pezzo di ferro calamitato ordinariamente.

963. I mineralisti hanno riguardato come una specie particolare di ferro di miniera, che hanno chiamato *calamita*, quello che ha i due poli magnetici; ed era questo il *ferrum attractorium* di Linneo. Fra gli altri minerali di questo genere, quelli che non avevano poli distinti, ma solamente la facoltà di essere attratti dalla sbarra calamitata, si chiamavano *ferrum retractorium*: finalmente hanno chiamati *ferrum refractarium* quelli che non cedevano alla azione di questa sbarra. Delarbre annunziò nel 1786, che i ferri speculari di Volvic, del Puy-

de-Dôme e del Mont-d'Or avevano due poli distintissimi (*a*); e noi abbiamo sentito parlare di una simile osservazione fatta sopra un cristallo di ferro ottaedro di Svezia, o di qualunque altro paese: ma eccitava pure la maraviglia il vedere tanti altri corpi, che contenendo una certa quantità di ferro in stato metallico, erano stati lungo tempo nel seno della terra senza parere di aver partecipato dell' azione che aveva convertiti i primi in calamita.

964. Noi abbiamo intraprese recentemente alcune esperienze per rischiarare questo punto di Fisica; ma abbiamo considerato che se ci servivamo di una sbarra di una certa forza, come si fa ordinariamente per provare il magnetismo del ferro di miniera, potrebbe accadere che alcuni corpi i quali non fossero che debolissime calamite, attraessero indifferentemente i due poli della sbarra; poichè presentando per esempio il polo boreale del corpo sottoposto all'esperienza al polo boreale della sbarra, la forza di questa potrebbe distruggere il magnetismo di quello, e farvi inoltre succedere lo stato contrario, il che cambierebbe la repulsione in attrazione: ci siamo dunque serviti di un ago calamitato molto leggermente, simile a quelli da bussola a quadrante; e in tal caso tutto fra le nostre mani divenne calamita. I cristalli dell' isola dell' Elba, quelli del Delfinato, di Framont, dell'Isola di Corsica, ec. respingevano uno dei poli del piccolo ago con lo stesso punto che attraeva il polo opposto. Pochissime sono state le eccezioni che abbiamo trovate, e forse i corpi che le presentano hanno perduto il loro magnetismo dopo essere stati estratti dalla terra; e abbiamo ragione di presumerlo, perchè vediamo che quando si mettono questi a contatto per un minuto o due con una sbarra di mediocre forza, acquistano poli determinati con moltissima facilità.

Potrebbe ancora accadere che alcuni cristalli fossero sfuggiti all'azione del magnetismo del globo, per essere stati situati in maniera che il loro asse fosse perpendicolare alla direzione del meridiano magnetico del loro luogo natio.

965. Ci venne in pensiero che potrebbe ancora accadere, che un cristallo nello stato di calamita sembrasse, in conseguenza appunto di questo stato medesimo, non avere alcuna azione sopra un'altra calamita. Per verificare questa congettura abbiamo sostituito all' ago una delle solite sbarre, e abbiamo presentato a un polo di questa un cristallo dell' isola dell' Elba per il polo del medesimo nome. La sbarra avendo appena la forza necessaria per distruggere il magnetismo del polo che

(*a*) *Journal de Physique*, 1786. p. 119 e seg. Romé de Lisle aveva già detto lo stesso relativamente ad un ferro speculare di Filadelfia. Crist. t. III, p. 187. nota 35.

le veniva presentato, e ridurlo di nuovo allo stato naturale, non accadde da questa parte nè attrazione nè repulsione sensibile, mentre la sbarra si muoveva se si presentava il médesimo polo del cristallo all'altro polo di essa. Da ciò si vede che contentandosi di una sola osservazione, potrebbe dedursene una falsissima conseguenza.

Restava ancora da togliersi una piccola incertezza relativa ai resultamenti che abbiamo enunciati. Quando si presenta un pezzo di ferro non calamitato, come una chiave, in una situazione verticale o quasi verticale al polo australe di un ago calamitato, questo polo è sempre respinto dall'estremità inferiore della chiave, mentre l'estremità stessa attrae il polo boreale (a); e questo è come abbiamo veduto (§. 955), l'effetto del magnetismo comunicato alla chiave dall'azione del globo terrestre, e che è così leggiero, che se si rovescia la situazione di questa chiave, subito appariscono gli effetti contrarii; ma non può dirsi per altro che i cristalli sottoposti all'esperienza fossero in circostanze eguali a quelle della chiave, tanto perchè la loro azione era costante in qualunque situazione si mettessero, quanto perchè se ne trovavano alcuni che con le estremità inferiori respingevano il polo boreale dell'ago, e ne attraevano l'australe.

966. Da queste osservazioni resulta, che tutti i pezzi di ferro nascosti sotto terra che non abbondano molto di ossigene, o almeno la massima parte, sono altrettante calamite naturali che solamente variano per i loro gradi estesissimi di forza. Dunque la calamita non deve formare una specie a parte in mineralogia; e ciò che si chiama comunemente con questo nome, non è che il termine primo e più distinto di una serie in cui la natura procede con le sue solite gradazioni, e in cui possiamo seguirla ben lungi, servendoci di mezzi proporzionati alla delicatezza delle sue gradazioni medesime.

DEL MAGNETISMO DEL NICKEL E DEL COBALTO.

967. Aggiungeremo qui qualche particolarità relativa a due sostanze metalliche, che sembrano dotate egualmente che il ferro di una virtù magnetica sensibilissima. L'una è il Nickel, che nello stato in cui si è presentato finora naturalmente, è sempre unito all'arsenico ed al ferro; nel qual caso non produce alcun moto nella sbarra calamitata. Ma questa osservazione non prova nulla, perchè l'arsenico ha questa particolarità, che ancora in poca quantità rende invisibile l'azione del magnetismo.

Bergmann ha fatto moltissime esperienze sul nickel, e si è accorto

(a) L'osservazione si suppone fatta in Francia.

che questo metallo purificato quanto è possibile, esercitava un' azione sulla sbarra calamitata. Il celebre Klaproth ancora, dopo avere scoperto che la varietà dell' agata chiamata *Chrysopraso* era di color verde in forza dell'ossido di nickel, credette di poter riguardare come purissima la porzione di questo metallo che aveva ottenuta dall' analisi di questa pietra (*a*); e vedendo che il nickel in questo stato poteva sempre essere attratto, inclinò a credere, che questo medesimo metallo avesse comuni col ferro le proprietà magnetiche.

Frattanto poteva nascere il sospetto che il nickel, quando era creduto puro, tenesse ancora nascoste in se alcune molecole ferrigne che niuno agente chimico aveva potuto togliergli.

968. Noi ci siamo prefissi di allontanare, se è possibile, questo sospetto, sottoponendo all'esperienza una lastra di nickel purificato, ottenuto da Vauquelin, di 45 centigrammi o otto grani e mezzo di peso, e lungo 16 millimetri o sette linee in circa. Questa lastra attraeva primieramente ambedue i poli di un ago calamitato, ma le fu facilmente comunicato il magnetismo polare per mezzo del metodo di Coulomb (§. 914), sicchè essa attraeva e respingeva distintissimamente l'ago; ed essendo stata sospesa ad un sottilissimo filo di seta, subito si diresse nel piano del meridiano magnetico: inoltre un filo di ferro che pesava quasi la metà di questa lastra, essendo stato messo a contatto con essa, vi restò sospeso per effetto del magnetismo.

Biot ha poi paragonata la forza magnetica del nickel con quella dell'acciaio, facendo oscillare due lastre rettangolari lunghe 0,met. 2127, e larghe 0met., 006: quella di nickel, purificata al massimo grado da Thenard, pesava 5gram., 178, e l'altra 4gram., 586.

Calamitate le lastre fino alla saturazione, e sospese a fili di seta, quella di nickel fece 10 oscillazioni in 87″, e quella d'acciaio ne fece lo stesso numero in 45″, 5. Ma le forze magnetiche di due corpi di eguali dimensioni sono in ragione diretta dei pesi, e in ragione inversa dei quadrati dei tempi impiegati a fare un dato numero di oscillazioni; dunque la forza magnetica del nickel sta a quella dell'acciaio, come $\frac{5,178}{87^2}$ sta a $\frac{4,586}{(45,5)^2}$, o : : 0,000684 : 0,002215; cioè la prima è un poco meno di un terzo della seconda.

Ma la quantità del ferro che bisognerebbe supporre nelle suddette lastre di nickel era troppo considerevole, perchè potessimo credere che fosse assolutamente sfuggita ai due famosi chimici, che si erano serviti di metodi perfetti per ritrovarla, e che sembrava che avessero

(*a*) *Annales de Chimie*. T. I. pag. 169.

esauriti tutti i mezzi che può somministrar l'arte, per ridurre queste lastre in stato di purità.

969. Frattanto Logier, esatto sempre e preciso nelle sue operazioni, credè che il nickel non fosse stato peranco ridotto alla massima sua purità, e tentò nuovi mezzi onde spogliarlo da qualche altra piccola quantità di materia eterogenea, che potesse esser rimasta imprigionata fra le sue molecole. Fu secondato in queste sue ricerche dal Dott. Silveria, medico portoghese, e giovane di moltissimo merito; e nella memoria che presentò all'Accademia delle Scienze, e che ottenne l'approvazione, si posson vedere in particolare tutte le esperienze con cui questi due sperimentatori accuratissimi hanno potuto talmente purificare il nickel, da riguardarlo come ridotto alla semplicità chimica (*a*).

Essendo dunque il nickel dotato della proprietà della calamita, è naturale che tal proprietà debba avere in esso tanto maggiore energia, quanto esso è più puro, come appunto resulta dalle esperienze di Logier. Noi stessi, secondando il suo desiderio, le abbiamo verificate con una lastra di nickel dataci da lui stesso, di forma quasi circolare, di 25 millimetri o quasi un pollice di diametro, e grossa due millimetri ossia una linea in circa. Facendo girar questa lastra in faccia ad un'estremità d'un ago debolmente calamitato, ci siamo accòrti che essa aveva due poli situati sulla direzione d'un medesimo diametro; e con un ago più calamitato, in vece di repulsione accadeva qualche volta attrazione, ma era però sempre distintissima l'azione polare. Non volendo noi accrescerla per mezzo della magnetizzazione, ci piacque piuttosto di provarne la durata, che trovammo di sei mesi più della prima volta. L'azione polare è doppiamente notabile in questo caso, essendo il resultamento d'una semplice operazione d'analisi, che sembra totalmente estranea ai mezzi usati comunemente per produrla.

970. L'altra sostanza è il cobalto, che nelle miniere essendo sempre mescolato col ferro e con l'arsenico, ridotto dalla Chimica al maggior grado di purità, manifesta un magnetismo sensibilissimo. Wenzel ha formati alcuni aghi di questo metallo, i quali dopo essere stati calamitati si dirigevano come quelli delle bussole ordinarie (*b*). In sostanza, nulla v'è che ripugni perchè altri metalli ancora abbiano, come il ferro, la facoltà di ritenere il fluido magnetico imprigionato nei loro pori; e questa specie di prerogativa che sembrava propria soltanto del ferro, doveva sembrare tanto più singolare, quanto che la natura in generale non è mai tanto esclusiva nel suo modo d'operare.

(*a*) *Exper. sur le traitem. des mines de Cobalt et de Nickel ec. An. de Chim. et physiq.*, t. IX, p. 267. *et suiv.*

(*b*) *Gren, Manuel systém. de Chim., deuxième édit.*, t. III, p. 516. e seg.

7. DELLE DIVERSE IPOTESI IMMAGINATE DAI FISICI SULLA CAUSA DEL MAGNETISMO CHE ESERCITA IL GLOBO TERRESTRE.

971. Cartesio e i segnaci di sua dottrina avevano spiegati i fenomeni delle calamite ordinarie per mezzo d'un' ipotesi, che sembrava a loro la più adattata al magnetismo naturale. Credevano che il globo terrestre fosse come una gran calamita, e che il fluido magnetico circolasse continuamente da un polo all'altro, e trasportasse nella sua direzione gli aghi calamitati sospesi liberamente: e poichè il vortice formato da questo fluido seguiva la curva del globo, così determinava l'ago a inclinarsi verso l'uno o l'altro polo, a misura che si scostava dall'equatore. Relativamente poi alla declinazione, tentavano essi di spiegarla, supponendo che i poli del vortice magnetico non coincidessero con quelli del globo, ma se ne discostassero alquanto. Concependo la causa del magnetismo in questa maniera vaga piuttosto che generale, eludevano essi la determinazione di tutti i fenomeni particolari, o per meglio dire, di tutte le anomalie apparenti che continuamente si osservano nei moti dell'ago. Bisognava riflettere ad una verità che è importantissima per l'avanzamento delle scienze, cioè che se le idee generali sono le basi delle teorie, con l'idee particolari soltanto possiamo giudicare se queste basi son solide.

972. Disparvero i vortici di Cartesio, quando con maggior precisione furono osservati i fenomeni magnetici; e una più sana fisica, invece di riguardarne come causa gl'impulsi impressi dalle molecole dei vortici sopra gli aghi calamitati, ne trovò una più vera cagione in certe forze che operano a distanza su questi aghi medesimi e che hanno il proprio centro d'azione nell'interno del globo medesimo. E poichè doveva naturalmente darsi a queste forze un soggetto, i fisici si divisero fra due opinioni diverse, ma ambedue però analoghe al già conosciuti fenomeni. Alcuni ricorsero alle calamite di miniera, che supposero abbondantissime verso i poli: la disposizione irregolare delle masse di cui eran formate queste calamite, produceva le diversità che momentaneamente si osservano nelle declinazioni e nelle inclinazioni degli aghi situati in diversi punti della terra; e i cambiamenti che accadevano nelle calamite per varie cause che le alteravano o le distruggevano in qualche parte, mentre altre ne nascevano in altri punti, facevan variare col tempo la quantità della declinazione o dell'inclinazione per ciascun luogo particolare.

972. Halley, Epino ed altri fisici, non impugnando l'influenza delle calamite di miniera sulla direzione degli aghi, l'hanno riguardata sol-

tanto come una forza secondaria, e hanno supposto che la forza principale derivasse da una grossa calamita di forma globosa o quasi globosa, che formava come il nocciolo del globo terrestre. Halley aveva immaginato ancora, che questo nocciolo dovesse avere un moto lentissimo, per cui la sua situazione cambiasse continuamente, relativamente al globo; e con ciò spiegava egli le variazioni che il tempo apporta nell'inclinazione e nella declinazione dell'ago relativamente ad un luogo stesso.

974. Epino non ammette questo moto, che gli sembra insufficiente e ancora assolutamente inutile; e per ridurre i fenomeni all'ipotesi di un nocciolo fisso, osserva primieramente, che se il fluido fosse distribuito uniformemente in questo nocciolo, sicchè i suoi due centri d'azione, supposti di egual forza, fossero situati sull'asse della terra, egualmente distanti dal centro, non esisterebbe alcuna declinazione in verun punto del globo, mentre l'inclinazione, che non esiste sotto l'equatore, crescerebbe verso i poli con una legge che sarebbe in rapporto col cambiamento di latitudine.

Ma il fluido si distribuisce irregolarmente nell'interno del nocciolo magnetico. In alcune parti il fluido è più accumulato, e in altre più raro, e però i centri d'azione cambiano continuamente di situazione relativamente a un ago portato in diversi punti della terra. Se il punto a cui corrisponde l'ago è situato in maniera, che la resultante di tutte le forze che operano diversamente sull'ago da differenti punti del nocciolo magnetico, sia parallela all'asse della terra, la declinazione sarà zero; ma crescerà in proporzione dell'aumento dell'angolo che questa resultante farà con l'asse del globo.

Dall'altra parte la distribuzione del fluido cambia con l'andar del tempo nell'interno del nocciolo, e da questi cambiamenti derivano quelli della declinazione e dell'inclinazione dell'ago in uno stesso luogo.

975. Relativamente poi alla variazione diurna della declinazione, Canton ha creduto che possa dipendere dalla diminuzione di forza di attrazione, che il calor dei raggi solari doveva produrre nel nocciolo magnetico del globo: e poichè tal diminuzione, relativamente alle parti situate verso l'est, accade nella mattina, l'ago venendo attratto meno da questa parte, doveva declinare verso l'ovest, e l'effetto opposto doveva accadere dopo mezzogiorno.

976. La nostra ipotesi sembra che prenda un nuovo aspetto in conseguenza d'un'osservazione fatta da Lahire. Avendo egli tagliato in forma di sfera una calamita naturale di quasi cento libbre, e avendone determinato l'asse dalla situazione dei poli magnetici, segnò su questa sfera un equatore e un dato numero di meridiani: quindi fece corrispondere un ago calamitato successivamente a diversi punti di questa

calamita, e osservò che in qualcuno di questi punti esso si dirigeva esattamente da un polo all'altro, e che in altri punti declinava a destra o a sinistra, sicchè la maggior declinazione che avesse osservato era di 26° in circa.

977 Tale era lo stato delle nostre cognizioni relativamente al magnetismo naturale, quando Coulomb, che sembra destinato ad esaminare le minime forze che richiedono la più delicata attenzione, trovò con varie esperienze di questo genere alcuni resultamenti imprevisti, che rischiarano infinitamente questo ramo di Fisica. Dispose egli due sbarre calamitate sopra una stessa linea retta, in modo che i loro poli opposti eran distanti fra loro circa 15 millimetri: quindi nello spazio intermedio pose successivamente certi piccoli cilindri di diverse materie, lunghi sette o otto millimetri, ciascun dei quali era sospeso liberamente a un filo di seta cruda. Osservò in questo apparecchio che un tal cilindro, di qualunque materia fosse composto, si disponeva sempre esattamente secondo la direzione delle sbarre; e se veniva distolto da tal direzione, vi tornava costantemente dopo alcune oscillazioni. L'oro, l'argento, il rame, il piombo, lo stagno, il vetro, la creta, le ossa degli animali, e alcuni legni furon sottoposti all'esperienza, e tutti questi corpi provarono l'azione delle sbarre magnetiche *(a)*.

In due maniere potevano spiegarsi questi fenomeni: una consisteva nel dire che tutti gli elementi che entrano nella composizione del nostro globo, erano di lor natura capaci della virtù magnetica, la quale però era quasi insensibile nella maggior parte dei corpi, sicchè non era stata finora osservata se non nel ferro soltanto, che la possiede nel più alto grado: l'altra spiegazione supponeva che l'azione magnetica esercitata dalle sbarre nelle esperienze che abbiam citate, derivasse dalle molecole di ferro sparse indistintamente nelle varie sostanze naturali, per quanto neppur l'analisi chimica sapesse riscontrarvele. Coulomb che in principio inclinava ad adottare la prima spiegazione, sembra che poi sia restato indeciso fra l'una e l'altra; quindi propose una serie di esperienze, delle quali alcune ha eseguite egli stesso, col fine di misurare l'azione delle sbarre sui corpi diversi, e di cercare qual sarebbe, relativamente alla massa di ciascuno di questi corpi, la quantità di ferro che bisognerebbe supporre sparso nel suo interno, per produrre il numero di oscillazioni che essa fa in un tempo dato.

Nè possiamo in verun modo dubitare della giustezza di questi resultamenti, giacchè è nota la precisione con cui opera sempre Coulomb. Frattanto alcuni Fisici avendo preso a verificarli, non vi son potuti rie-

(a) *Journ. de Physiq.*, Floréal An. X, p. 367. e seg.

scire; e noi stessi abbiam tentato invano di ottenere simili effetti, servendoci di sbarre più vigorose delle ordinarie, e non omettendo veruna diligenza che potesse contribuire al buon esito dell'esperienza. Le oscillazioni che facevano gli aghi nel primo momento, corrispondevano ad altrettanti archi tagliati molto disegualmente da una linea parallela agli assi delle sbarre, la quale avrebbe dovuto operare in questo caso come la verticale nelle oscillazioni del pendolo. Quando poi l'ago aveva cessato di oscillare, la direzione sulla quale si era fermato faceva un angolo più o meno ottuso con l'asse medesimo, e che variava in ogni esperienza.

La sola maniera di conciliare in questo caso la diversità dei resultamenti con l'andamento uniforme delle operazioni, consisterebbe nel dire che l'azione del magnetismo sugli aghi, non cominciando a divenir sensibile se non a un certo grado d'energia, le esperienze restano senza effetto, o riescono secondo che la forza delle sbarre è inferiore o superiore o eguale a questo grado. La quale spiegazione sembra confermata da alcune esperienze, di cui è stato annunziato soltanto il resultamento, nelle quali alle solite sbarre furon sostituiti fascetti di lastre magnetiche, i quali così riuniti dovevano acquistare un aumento notabilissimo d'energia; ma noi non abbiam potuto ripetere le esperienze con un tale apparecchio.

978. Le ricerche dei fisici moderni per perfezionare la scienza del magnetismo, non son giunte finora al loro termine; e i fenomeni dei quali abbiamo più scarse cognizioni, sono la declinazione dell'ago e la variazione dell'intensità della forza magnetica. Taluno ha creduto aver trovata la legge della declinazione, e averla ridotta ad una specie di progressione, in cui doveva trovarsi la quantità di cui l ago declina sopra ogni punto della terra: anzi v'è stato perfino chi ha preteso, che la declinazione potesse servire a sciogliere il problema delle longitudini. Ma secondo Biot, sarebbero necessarie più osservazioni, e più precise di quelle che sono state fatte finora, per trovare le leggi della declinazione e dell'intensità; e potrebbe quasi dirsi che sotto questo aspetto la fisica del magnetismo è tuttora immatura per la Geometria.

979. Termineremo con un breve paragone fra il fluido elettrico ed il magnetico, considerati relativamente alla lor maniera di operare, e alle funzioni che esercitano. Uno estende il suo impero su tutti i corpi della natura; e in quanto all'altro è provato che soltanto il ferro, il nickel e il cobalto son soggetti al suo potere. Il fluido elettrico ora si comunica liberamente da un corpo ad un altro, ora resta imprigionato nei corpi nei quali si è scomposto, mentre il ferro dall'altra parte

non divide con un altro ferro il suo fluido magnetico, ma lo ritiene costantemente come incatenato nei suoi pori.

L'elettricismo si manifesta all'occhio con getti di luce, per mezzo di rumorose scintille; e il magnetismo opera tranquillamente e in silenzio, e non è sensibile se non per i moti che imprime nei corpi soggetti alla sua azione; sicchè i fenomeni elettrici eccitano una più viva maraviglia, e i fenomeni magnetici una più tranquilla ammirazione.

Finalmente la scomposizione spontanea del fluido elettrico nella natura dipende da cause locali, variabili e passeggiere: il fluido magnetico ha le sue forze quasi concentrate in certi punti del nostro globo, come in altrettanti fuochi, dai quali esse esercitano ad ogni momento la loro azione sopra tutti i corpi ferrigni: operano pure continuamente sugli aghi della bussola, se non in una maniera costante, almeno con variazioni piccolissime, onde lo strumento sottoposto alla loro azione possa servir di guida ai naviganti, e compensarli in qualche parte dell'assenza delle stelle. Così la calamita che per lungo tempo non è stata che un soggetto di maraviglia, somministra alla marina uno dei più preziosi strumenti; e da ciò apprendiamo che gli oggetti i quali sembra in principio che non guidino se non a speculazioni curiose, non debbono per questo porsi in dimenticanza. Oltre il resultarne sempre nuove cognizioni, adattate ad esercitare la sagacità dello spirito e ad ornar la ragione, può accadere che tali cognizioni contengano in se un utile occulto, che in seguito verrà scoperto; e mentre le studiamo, prepariamo forse senza saperlo quella circostanza in cui esse ci si presenteranno in un aspetto veramente importante, e cesseranno di essere sterili per il bene della Società.

ESPERIENZE ELETTRO-MAGNETICHE.

Osservazioni preliminari.

980. Il Galvani non aveva conosciuta l'esistenza del fluido elettrico nei fenomeni di cui fu il primo scopritore; e riconoscendone per causa un fluido che circolava nel corpo degli animali, non si accorgeva che allontanava sempre più dalla verità la teoria di essi. Quando poi il Volta ne ebbe scoperta la vera cagione, e dopo aver messo in attività il fluido elettrico nella pila che da lui stesso prese il nome, gli effetti che si osservavano in questo strumento apparvero in modo da porlo in una classe separata dagli altri corpi elettrici; e mentre i corpi elettrici fino allor conosciuti comparivano simili ai corpi magnetici, relativamente alle leggi a cui era soggetto il fluido di cui erano rivestiti, questo fluido appariva in certo

modo diverso da se stesso, per la maniera con cui si caricava la pila, in virtù della proprietà che essa aveva di riacquistare continuamente ciò che aveva perduto, e della distribuzione dei due fluidi che circolavano nell'interno di essa. Il professore Oersted ha provato con molte singolari esperienze, che il fluido magnetico il quale fin allora non aveva servito che di termine di paragone fra i fenomeni elettrici, aveva realmente parte a quelli della pila.

Esporremo dunque con la maggior chiarezza che ci sarà possibile i resultamenti di queste belle esperienze, in cui alcuni fenomeni tanto noti, e con i quali era familiarizzato il nostro occhio da tanto tempo, son comparsi con tali caratteri, per cui sembrano esser divenuti fenomeni totalmente nuovi.

ESPOSIZIONE DEI FENOMENI.

981. È noto che l'azione esercitata sul fluido naturale dei dischi metallici che entrano nella composizione della pila, serve a separare i due fluidi elettrici di cui esso è composto, e tende continuamente a respingerli in parte contraria verso le estremità. Da ciò resultano due stati diversi del fluido sviluppato dalla pila, secondochè queste estremità o sono isolate l'una dall'altra per mezzo di corpi non conduttori, o per mezzo di un filo conduttore sono in comunicazione fra loro. Il primo stato è uno stato d'equilibrio o di *tensione elettrica*; ciascuno dei due elettricismi si accumula nella parte della pila verso la quale è portato, finchè la loro tendenza a riunirsi faccia equilibrio all'azione contraria esercitata dalla pila per separarli: ma se si forma un circuito, unendo le estremità della pila con un filo metallico, in tal caso non vi è più tensione; i due fluidi sprigionati dall'azione continua della pila si spargono in modo opposto sul filo conduttore, su cui viene a stabilirsi in virtù della loro unione il secondo stato di elettricismo, indicato col nome di *corrente elettrica*. Questo stato è distinto da un nuovo ordine di fenomeni, ai quali appartengono quelli scoperti dalle esperienze di Oersted, Ampére e Arago.

1. FENOMENI SCOPERTI DA OERSTED.

982. Questi fenomeni consistono nelle azioni riconosciute da Oersted fra il filo metallico che unisce i due poli di una pila, e una calamita, azioni che dipendono non solamente dalla situazione del filo relativamente alla calamita, ma ancora dalle direzioni che su questo filo seguono i due elettricismi. E poichè queste direzioni sono contrarie, per determinarle basta indicare la direzione nella quale si muove l'elettricismo positivo, lo che si chiama la *direzione della corrente elettrica*. Ciò premesso, tutti i fatti particolari osservati da Oersted si possono presentare, come ha fatto Ampére, sotto un punto di vista che li riduca ai due generali resultamenti che passiamo ad esporre.

983. 1.° *Resultamento*. Avvicinando un ago calamitato ad un punto qualunque di un circuito galvanico, lo vediamo scostarsi dalla sua direzione primitiva, e tendere a muoversi in modo che il suo asse sia per divenire perpendicolare a questa porzione di circuito. Inoltre se ci immaginiamo di situarci nella direzione della corrente, in modo che essa sia diretta per noi dai piedi alla testa, e d'avere la faccia voltata verso l'ago, il polo australe è portato sempre dall'azione galvanica verso la nostra sinistra.

984. Supponiamo per esempio che una pila sia posta orizzontalmente, quasi nella direzione del meridiano magnetico, e che in una direzione parallela a questo meridiano sia stato disposto un certo numero di fili congiuntivi: supponiamo inoltre che il polo positivo della pila sia voltato verso il Nord in modo, che la corrente galvanica sia diretta dal Sud al Nord nella pila, e dal Nord al Sud nella parte rettilinea del conduttore. Se mettiamo due aghi calamitati mobili sopra due perni, uno sulla pila stessa, e l'altro o sopra o sotto il filo conduttore, il polo australe della prima si porterà verso l'est, e quello della seconda si volterà dalla parte opposta quando sarà situato sopra il conduttore, e dalla parte stessa quando sarà situato sotto il medesimo.

In questa esperienza, l'azione della corrente galvanica si combina sempre con quella che il globo terrestre esercita sull'ago calamitato; sicchè questo non giunge mai alla situazione verticale, e si ferma obliquamente facendo un angolo più o meno ottuso col meridiano magnetico. Ma si può annullare l'influenza del Globo come ha fatto Ampére, fissando l'ago calamitato perpendicolarmente ad un asse a cui si dà la direzione dell'ago d'inclinazione; nel qual caso esso fa sempre un angolo retto col filo conduttore dal quale soltanto è diretto.

985. 2.° *Resultamento.* Un conduttore galvanico, supposto fisso, e un ago calamitato sospeso liberamente ad un filo, si attraggono quando l'ago è in quella situazione verso la quale si dirigeva nell'esperienza precedente, in virtù dell'azione direttrice del conduttore, e si respingono quando l'ago è nella situazione contraria. Quando accade attrazione, se il conduttore e l'ago vengono a contatto, restano attaccati l'uno all'altro come farebbero due calamite (69).

(69) Come 3.° *resultamento* si può considerare la *rotazione elettro-magnetica*, sulla quale Faraday aveva fatte molte esperienze, ma che Davy ha osservata sotto un nuovo aspetto, forse ancora più importante di quello che non comparisce presentemente (*Bibl. Univ.* 1824; t. XXV, p. 98). Si pongono due fili metallici in comunicazione con i poli d'una pila a grandi superficie, e per mezzo d'una piegatura o gomito ad angolo retto, si immergono con l'altra estremità nel mercurio; quindi avvicinando un polo d'una forte sbarra calamitata o sopra o sotto uno dei fili, il mercurio comincia a muoversi circolarmente intorno al polo della sbarra; e il moto diventa ancor più rapido, se si presentino due poli opposti di due sbarre magnetiche, uno sopra e uno sotto il medesimo filo.

Immergendo un polo di calamita perpendicolarmente nel mercurio, accanto a uno dei fili, la massa di mercurio che prende un moto rotatorio è più voluminosa, a segno da aver talora qualche pollice di diametro.

Tenendo questo polo sopra il mercurio fra i due fili, in vece di rotazione si vedono due correnti in due direzioni opposte, una a destra e l'altra a sinistra. Questa circostanza fece sospettare a Davy, che il moto prodotto nel mercurio dal passaggio dell'elettricismo, fosse indipendente dall'azione magnetica. Infatti, introdotti i due fili per la parte inferiore del vaso, in un modo simile all'apparecchio di Thenard per la scomposizione dell'acqua (§. 851, *fig.* a^{IV}), e postili al solito in comunicazione con la pila, il mercurio apparisce molto agitato, si eleva in forma di cono sopra le due punte interne, accadono ondulazioni per ogni verso intorno ai coni stessi, e il metallo non è in riposo se non dove si incontrano queste ondulazioni, cioè nel mezzo alle due punte.

In questo stato di cose, se si presenti sopra il vertice del cono, ad una distanza di qualche pollice, un polo di calamita molto potente, il vertice di esso si abbassa, e la base si estende; il qual effetto cresce a misura dell'avvicinamento della calamita, e nel tempo stesso scemano le ondulazioni, finchè, avvicinata moltissimo, il cono sparisce, e comparisce nuovamente la rotazione intorno alla punta; e finalmente, quando il polo magnetico è distante dal cono di mercurio un mezzo pollice in circa, il mercurio si avvalla, e la rotazione accade a guisa di piccolo vortice, fino a scoprire la stessa punta metallica.

In mezzo all'oscurità delle vere cause di tanti fenomeni di questo genere, e del modo con cui essi operano, non sarebbe forse di mediocre utilità la spiegazione di questo, in cui sembra che apparisca non poca analogia col fenomeno del flusso e riflusso del mare.

Questa rotazione del mercurio può riguardarsi ancora sotto un altro aspetto, in conseguenza d'un fatto singolare fattomi osservare pochi mesi sono dal

2. ATTRAZIONI E REPULSIONI GALVANICHE OSSERVATE DA AMPÉRE.

986. Poichè, come abbiamo osservato, le azioni suddette sono reciproche fra l'ago calamitato ed il filo congiuntivo, è chiaro che esse si manifesterebbero egualmente nel caso in cui l'ago essendo fisso, gli venisse presentato un conduttore mobile; e poichè lo stesso globo terrestre fa le veci di una vera calamita, si deve concludere che esso dirigerebbe costantemente dalla medesima parte un conduttore posto in una maniera analoga agli aghi di bussola: così quando si forma con un filo metallico un circolo quasi chiuso, in cui non si lascia che l'interruzione bastante per far comunicare le due estremità del filo coi poli della pila, rendendo mobile tutto questo apparecchio intorno ad un asse compreso nel piano del circolo, l'azione del globo porta questo piano in una situazione perpendicolare ad un ago calamitato, il quale forzato a girare intorno all'asse medesimo obbedirebbe dal canto suo alla medesima azione. Delicatissima è questa esperienza tentata la prima volta da Ampére; e nella memoria in cui esso l'ha descritta, può vedersi quali precauzioni ha dovuto prendere per assicurarsi dell'esito (*a*).

987. Lo stesso fisico ha scoperto ancora fra due fili metallici che facevano parte dello stesso circuito, un'azione scambievole perfettamente analoga a quella che esercita un filo congiuntivo sopra una calamita, o che è reciproca fra due calamite. Per renderla sensibile, dispone egli in direzioni parallele due porzioni rettilinee del conduttore, in modo che l'una sia fissa, e l'altra sia sospesa mobilmente onde potersi avvicinare alla prima, o allontanarsene, restandole sempre parallela. In

dotto Cav. Nobili. Versata una goccia di mercurio in un piatto, e copertala con acido solforico concentrato, se si tocchi questa goccia con l'estremità d'un filo di ferro in stato naturale, primieramente apparisce visibilissima una rotazione continua del liquido sopra il mercurio, la quale si osserva anco meglio, se si sparga sopra il liquido stesso qualche grano di polvere sottile: quindi si vede un tal moto alternativo di contrazione nella goccia metallica, che noi non sapremmo paragonar meglio che alla sistole e alla diastole del cuore; e tali moti appariscono ancora più pronti se si tocchi il mercurio in due punti diversi nel tempo stesso. Qui si vedono due metalli in comunicazione fra loro per mezzo d'un fluido, e precisamente di uno di quegli umidi, quale è l'acido, che sono i migliori conduttori dell'elettricismo voltaico. Con molta ragione adunque il Cav. Nobili vede in questo piccolo apparecchio un'idea della miglior pila che potesse costruirsi, relativamente tanto all'attività quanto alla durata, e a questo oggetto infatti egli tende nelle sue ricerche con altri amatori della fisica.

(*a*) *Annal. de Chimie et de Physiq.*, t. XV., ottobre, 1820.

tal caso facendo passare nel tempo stesso per i due fili una corrente elettrica, si osserva che essi si attraggono scambievolmente, quando le loro proprie correnti sono dirette dalla medesima parte, e si respingono quando sono dirette in parte contraria. In caso di attrazione, se essi giungono a contatto, restano attaccati fra loro come due calamite; e si noti ancora che questi effetti accadono egualmente e nel voto e nell'aria (70).

988. Ampére ha introdotto in un tubo di vetro una parte del filo congiuntivo, e ha ripiegato l'altra parte a spirale sul tubo, quindi sospendendo il tutto come un ago calamitato, ha ottenuto così un apparecchio tale, che accostandovi una sbarra calamitata produceva gli stessi moti che produrrebbe un ago in eguali circostanze.

(70) Rousseau ha modernamente tratto partito da una simile osservazione, per conoscere la facoltà conduttrice dell'elettricismo voltaico, esercitata da quelle sostanze che son riguardate come cattivi conduttori, e a questo fine ha immaginato il seguente apparecchio. Questo consiste in una palla di metallo fissata sopra un isolatore, e in un ago magnetico mobile sopra un pernio parimente isolato e posto in modo, che stando nella direzione del meridiano magnetico, stia immobile a contatto con la palla. Mettendo quindi in comunicazione anco con la pila a secco e l'una e l'altro, poichè si elettrizzano ambedue per comunicazione, e però nello stesso modo ambedue, dopo elettrizzati debbon respingersi; la repulsione apparirà nell'ago soltanto perchè è mobile, e l'allontanamento maggiore o minore di esso sarà proporzionale alla sua forza magnetica e all'energia della pila. Quindi sperimentando comparativamente varie sostanze, cioè ponendole in modo che a traverso di esse passi la corrente elettrica, poichè questo passaggio è tanto più lento quanto più imperfetto è il conduttore, la maggiore o minor facoltà conduttrice di questo, sarà indicata dal tempo maggiore o minore che impiegherà l'ago dopo la repulsione, per ritornare alla sua stabile situazione.

Nel fare queste esperienze, Rousseau ha scoperto che fra tutti gli olii, l'olio d'oliva è il meno conduttore di tutti, dimanierachè se con l'interposizione di questo olio, l'ago fa una certa deviazione in 40′, interponendo l'olio, per esempio, di faggiola o di papavero, la fa in 27″. Un centesimo d'un'altra specie d'olio aggiunto a quello d'oliva, rende un effetto più pronto in rapporto di 50 : 10. Dunque pare che con questo apparecchio si possano scoprire le più piccole quantità d'un olio diverso, mescolato in qualunque modo con l'olio d'oliva. *Antolog.* Giugno 1824, p. 153.

3.° OSSERVAZIONI DI ARAGO RELATIVAMENTE ALLA MAGNETIZZAZIONE DELLE LASTRE DI FERRO O DI ACCIAIO, PER MEZZO DELLA CORRENTE GALVANICA.

989. Arago ha osservato primieramente che il filo congiuntivo si caricava di limatura di ferro come una calamita, e che tale effetto non poteva attribuirsi ad un'azione elettrica ordinaria, poichè l'esperienza non riesce con limatura di rame o segatura di legno; ha veduto inoltre che il filo non comunicava al ferro dolce che un debolissimo magnetismo, mentre sull'acciaio produceva un effetto durevole. Alcune vedute teoriche lo indussero ben presto a formare col filo una spirale, nel centro della quale pose un ago di acciaio involto nella carta, e in pochi minuti l'ago aveva ricevuto un grado notabile di magnetismo; e ripetendo questa esperienza, si accorse che otteneva una situazione costante dei poli, in rapporto della direzione della corrente nella spirale. In un'altra esperienza si servì di due spirali simmetriche separate da una linea; le spire dell'una erano dirette in un modo, e quelle dell'altra nel modo opposto; e pose nelle due spire due aghi perfettamente simili. Il cambiamento di direzione per la quale circolava la corrente nelle due parti del filo, bastò per rovesciare i poli negli aghi. Introducendo un solo e medesimo filo d'acciaio in più spirali voltate in modi alternativamente contrarii, ottenne una serie di poli intermedii, analoghi a quelli da noi indicati col nome di *punti conseguenti* (71).

Arago stesso si accorse quindi, che l'elettricismo ordinario produceva tutti i fenomeni di magnetizzazione che aveva osservati per mezzo dell'apparecchio voltaico, ed è giunto a comunicare una forte virtù magnetica ad una sbarra di acciaio posta in un tubo di vetro, intorno al quale era avvolto a spirale un filo di ottone, facendo passare a traverso di questo filo una serie di scintille elettriche (72).

(71) Il dotto fisico inglese Pepys, ravvisando tanto comoda la spirale per questo genere d'effetti, ha costruito un elet romotore di sole due lastre, una di rame, l'altra di zinco, lunghe 50 piedi e larghe 2, che avvoltate in forma di spirale intorno ad un cilindro di legno, lasciando però fra loro un discreto intervallo, si immergono in un bagno d'acqua acidula. Questo apparecchio è potentissimo nel produrre effetti elettro-magnetici. *Antol.* Maggio 1824, p. 155.

(72) Furono forse gli apparecchi di Ampère che suggerirono all'ingegnoso Poggendorff di Berlino un altro apparecchio di questo genere per magnetizzare un ago. Questo consiste in un filo di metallo *abcd* (*fig.* a^{IX}) avvolto a spirale di trenta o quaranta spire, coperto di seta come le corde metalliche d'un pian-forte: una delle sue estremità *a* è messa a contatto con una lastra di zinco, e l'altra *d* con una di rame. Queste due lastre sono a contatto con una dissoluzione

990. La teoria relativa ai nuovi fenomeni della pila, avrà per oggetto il ridurli a un principio che li leghi con le note leggi dei fluidi

d'acido nitrico o con qualche altro fluido buon conduttore. Si pone quindi nell'interno della spirale un ago sospeso sopra un pernio, e questo ago acquista in pochissimo tempo la polarità, e si dirige secondo il meridiano magnetico. L'autore chiama questo apparecchio col nome di *condensatore galvano-magnetico*; e Oersted riguarda un tal ago come un *galvano-metro* più sensibile ancora della rana preparata. *Antolog.* t. XVIII, p. 195.

Anzi lo stesso Oersted insieme col Barone di Fourier ha cercato di verificare con esperienze pratiche i resultamenti di Seebeck, relativi alla magnetizzazione d'un ago, per mezzo d'un circuito di soli conduttori solidi, elevati in temperatura in un certo modo particolare, il qual circuito è stato da loro chiamato *termo-elettrico*; sicchè il circuito della pila, nel quale entra per intermedio un fluido, vien detto da loro stessi *idro-elettrico*. L'apparecchio principale di cui si sono serviti, consiste in un esagono formato alternativamente di sbarre di bismuto e d'antimonio, saldate fra loro alle estremità. Si pone l'esagono in situazione orizzontale, e precisamente sotto il lato orizzontale si pone vicinissimo un ago di bussola sospeso liberamente. Scaldando una delle saldature con un semplice lume, l'ago devia alquanto; un poco più se se ne scaldano due non contigue, e moltissimo se se ne scaldano tre. Si ottiene l'effetto inverso raffreddando con ghiaccio le saldature medesime, relativamente alle quali è chiaro che le sbarre restano elevate in temperatura. Le molte particolari esperienze di questo genere posson vedersi nella *Bibl. Univ.*, t. XXIII, p. 50 e seg.

Il Dottore Yelin di Monaco ha provato parimente con l'esperienza su varii metalli, che formando con una lastra d'un solo metallo un circuito completo di qualunque figura, e attaccandone, quando è incandescente, un'estremità alquanto sotto l'altra estremità, se si riscalda ad un lume l'estremità saliente, e si immerge poi il circuito stesso nell'acqua fredda, questa lastra acquista le proprietà magnetiche, che facilmente si riconoscono. Dopo aver così sperimentato lo zinco, il bismuto, l'ottone, il piombo, il rame ed altri metalli, ne conclude che qualunque corpo metallico acquista le proprietà elettro-magnetiche, quando le sue diverse parti son ridotte a temperature diseguali; e che ha un'azione tanto più energica, quanto più diseguale è la temperatura di esse. *Ibid.* t. XXIV, p. 256.

Becquerel ha trovato che ancora un acido o un alcali o due acidi diversi, e perfino due porzioni d'uno stesso acido diversamente concentrate, possono formare un circuito elettro-galvanico. In prova di ciò prende egli una lastra di zinco, vi pone sopra verticalmente due tubi di vetro, fissandoveli con mastice, perchè non escano i liquidi che in essi debbon versarsi, e però i liquidi stessi non saranno fra loro in comunicazione, se non per mezzo della lastra di metallo. Versandovi per esempio acido nitrico puro e acido nitrico allungato, e immergendo quindi in ciascun tubo un filo del galvano-metro, si osserva 1.° che si forma una corrente elettrica; 2.° che questa corrente va dall'acido più forte al più debole. Sembra che questo sia il minimo grado possibile di combinazione per

elettrico e magnetico, e alle azioni scambievoli delle loro proprie molecole; ma per ottenere questo intento bisognerebbe avere dati più positivi su quella particolar disposizione dell'elettricismo indicata col nome di *corrente elettrica*. Frattanto Biot ed Ampére hanno cercato di determinare con l'esperienza l'azione scambievole di due porzioni infinitesime di filo congiuntivo; e hanno trovato che per una stessa situazione propria di queste porzioni di filo, quest' azione era in ragione inversa del quadrato della loro distanza; e considerando quindi i fili di una lunghezza finita come riunioni di elementi soggetti a questa legge, hanno dedotte per mezzo del calcolo le espressioni degli effetti composti che si osservano nelle attrazioni e nelle repulsioni di questi fili. In tal modo hanno trovato che quando due fili rettilinei, supponendone uno di lunghezza infinita, sono in direzioni parallele, la resultante delle azioni di tutte le sue parti sopra una porzione determinata dell'altro, è in ragione inversa della più corta distanza fra i due fili. Queste maniere geometriche di rappresentare i fenomeni hanno aperta la strada per cui la teoria deve giungere al suo vero scopo.

RIFLESSIONI INTORNO AI FENOMENI ELETTRO-MAGNETICI.

991. Giudicando dei fenomeni sin qui descritti, da ciò che essi presentano di straordinario a prima vista, e dalla generale maraviglia che essi hanno eccitato al primo annunzio, parrebbe che si dovessero collocare nella classe delle scoperte che hanno cambiato la faccia delle scienze alle quali appartengono; ma cambia il punto di vista, quando la riflessione succedendo alla maraviglia, esaminiamo ciò che manchi tuttora su tal proposito alle nostre cognizioni onde non resti nulla da desiderarsi; è questo esame appunto che ha suggerite le riflessioni seguenti.

992. E primieramente sembra ben provato che il fluido magnetico è diverso di sua natura dal fluido elettrico. Abbiamo citati varii fatti che stabiliscono questa distinzione, alcuni dei quali si riferiscono alle circostanze naturali che sviluppano i due fluidi, e li mettono in attività, e gli altri resultano dalle esperienze che ci mostrano da vicino le azioni degli stessi fluidi nei corpi che prendiamo ad esaminare.

formare un circuito elettro-galvanico. *Annal. de Chim. et Physiq.*, t. XXIII, p. 259. Posson vedersi nuove esperienze di questo genere tentate dagl' Inglesi, nel Tom. XXV. della *Bibl. Univ.* p. 104.

993. In secondo luogo le teorie dell'elettricismo e del magnetismo, quali sono adottate generalmente dai fisici, sono concordemente ed evidentemente dimostrate e dal calcolo e della osservazione; ed è tanto più chiara questa dimostrazione, da che esse si verificano scambievolmente con l'eguaglianza delle leggi alle quali i due fluidi, quantunque distinti fra loro, obbediscono in un modo invariabile nelle esperienze destinate a determinarle. Ma i nuovi fenomeni che sono resultati dalle esperienze fatte in Danimarca si riducono a questi tre: uno dipende dall'influenza esercitata dall'azione elettrica della pila sopra un ago calamitato per allontanarlo dalla sua direzione naturale; il secondo consiste nella proprietà che ha il fluido della pila di scomporre in certe circostanze il fluido magnetico, e di far nascere l'azione polare in un ago o in una sbarra di ferro; il terzo finalmente deriva dalle azioni scambievoli di due fili metallici, per i quali passano due correnti di elettricismo galvanico. Questo elettricismo produce solo un tal fenomeno, mentre gli altri due fenomeni dipendono dal concorso dell'elettricismo e del magnetismo.

994. Ma per non parlare per ora che di questo ultimo fenomeno, nei corpi elettrici e nei magnetici che sottoponiamo all'esperienza, osserviamo certi effetti che hanno dovuto eccitare la maraviglia in chi primo li osservò, ma che presentemente possono facilmente spiegarsi con le teorie generalmente adottate. Quindi si può credere che con l'andar del tempo accaderà lo stesso relativamente a questo fenomeno. Dall'altra parte l'azione che esercita la pila per far passare il ferro dallo stato naturale a quello di magnetismo polare, non è propria soltanto di essa, poichè la boccia di Leida ancora produce lo stesso effetto se venga scaricata a traverso del filo di ferro. Questo effetto è noto da gran tempo; e se nessuno aveva finora potuto spiegarlo con una certa soddisfazione, non per questo ne soffriva eccezione la teoria. Può dirsi lo stesso di un altro effetto non meno singolare che deriva dall'azione di un altro fluido diverso dal magnetismo e dall'elettricismo, cioè dal calorico, che ha la proprietà di suscitare poli elettrici nella tormalina, la quale in questa circostanza acquista come vedemmo, alcune proprietà particolarissime.

995. Il primo solo di questi fenomeni, cioè la deviazione dell'ago magnetico dalla sua situazione naturale per mezzo dell'influenza della pila, forma il vero carattere distintivo di questo apparecchio, e nessun altro agente è capace di imitarlo. Ne deriva dunque per conseguenza, che nella sua maniera di operare esiste una circostanza particolare che produce questo fenomeno, circostanza che i fisici giungeranno forse un giorno a ravvisare sotto quell'aspetto che la leghi alle leggi già dimo-

strate del magnetismo e dell' elettricismo. Ma però per quanto possa essere indietro la scienza, relativamente alla spiegazione di questo fenomeno e di altri di cui abbiamo parlato, è certo che essa non dovrà mai retrocedere per trovare tale spiegazione, ma che piuttosto dovrà fare nuovi passi per giungere ad ottenere questo intento (73).

(73) Dopo i resultamenti importanti di Bacquerel, relativi all' influenza dell' elettricismo nelle combinazioni chimiche, e dopo quelli di Prevost e Dumas sulle cause delle contrazioni muscolari, e dopo essere stati ridotti e gli uni e gli altri da Ampère all' unico principio elettro-dinamico, cioè alle leggi delle forze attrattive e repulsive osservate fra i conduttori delle correnti elettriche, sembra molto più aperta la via per trovare i mezzi di collegare più visibilmente fra loro la Fisica, la Chimica e anco la Fisiologia; scopo utilissimo, per cui le nuove scoperte fatte da quattro o cinque anni in questo genere, potranno divenire molto più importanti.

Un bel quadro delle principali esperienze elettro-dinamiche, accompagnato dalla *Descrizione d' un apparecchio elettro-dinamico* per confermarle, è stato presentato nell' anno scorso da Ampère, nella sua *Raccolta d' osservazioni elettro-dinamiche*.

VIII.

DELLA LUCE.

Dopo avere spiegati i varii fenomeni prodotti dai fluidi che si trovano sparsi intorno a noi, e nelle regioni vicine al nostro globo, ci inoltreremo ora fino alla considerazione della luce, la quale ha la sua sorgente negli astri, e che con la sua azione abbraccia tutta la sfera dell'universo.

La fisica non ci presenta in tutte le sue parti un soggetto più degno del nostro studio, tanto per la bellezza quanto per il numero dei fenomeni; ed anco i soli vantaggi che noi ritragghiamo da questo fluido che ci illumina, basterebbero ad eccitare tutta la nostra attenzione affine di conoscerne le proprietà Se l'aria, servendo di conduttore alla parola, ci mette in commercio di pensieri coi nostri simili, la luce accresce un gran pregio a questo commercio, facendoci vedere la loro immagine, la quale anco per se sola sì vivamente ci parla. L'occhio, più d'ogni altro senso capace di impressioni variate col soccorso della luce, rileva nel tempo stesso nei corpi le forme che ne limitano l'estensione, i colori che li abbelliscono, le relazioni delle loro situazioni, ed i moti che li trasportano nello spazio; e rileva egualmente senza alcuna confusione tutte quelle modificazioni che appariscono in tante forme in quella gran diversità di oggetti, ai quali si estende il potere di un semplice sguardo.

Ma se la visione non fosse che diretta, la parte stessa in cui è posto l'occhio, quella che ci caratterizza e che ci distingue dagli altri, ci sarebbe rimasta ignota: la luce però ha supplito a questa mancanza, presentandoci fedelmente il nostro ritratto dietro alle superficie reflettenti, le quali hanno un'azione capace di moltiplicare tutto ciò che ad esse venga presentato.

Nè son questi i soli vantaggi che ci provengono dalla luce. Al di là dei globi che brillano sopra il nostro capo, ve ne sono pur altri invisibili a noi per l'immensa loro lontananza, e mille altri oggetti organizzati sfuggono egualmente al nostro occhio per la massima loro picciolezza. La luce, ripiegandosi in certo modo nei corpi diafani terminati in superficie curvilinee, ci ha messi in grado di scorgere queste due specie di infiniti, aprendo così un nuovo cielo all'Astronomia, e un nuovo campo alla Storia naturale.

996. Nella teoria della luce abbiamo il vantaggio, che questo fluido procede geometricamente, dimanierachè, partendo da un piccol numero di leggi, giungiamo a determinare i resultamenti con metodi precisi

e rigorosi. È noto che il celebre Saunderson, cieco fino dalla nascita, dava pubbliche lezioni di Ottica; egli considerava i raggi della luce come semplici linee materiali, le quali esercitavano la loro azione sull'occhio per mezzo di contatto; e vedendo col pensiero queste linee, faceva concepire agli altri in qual maniera gli occhi loro vedevano quegli oggetti stessi dei quali quelle linee eccitavano in loro l'impressione.

997. La luce può considerarsi nello stato di composizione, che è il suo stato naturale, e nel quale la vediamo di una bianchezza singolare, oppure come decomposta in diverse specie di raggi diversamente colorati. Le proprietà relative al primo stato ci portano a determinare ciò che può chiamarsi *vie della luce*. Questo fluido tende sempre per se stesso a muoversi in linea retta; ma spesso accade che esso incontra un ostacolo a traverso del quale non può passare, e solamente può riflettersi sulla superficie di quello; ossia, trova un mezzo, cioè un corpo trasparente, a traverso del quale esso penetra, provando una deviazione, la quale è stata chiamata *refrazione*. Comprendendo sotto la denominazione generale di *Ottica*, tutto ciò che riguarda la Scienza della luce, con questo nome è stata indicata più particolarmente quella parte che tratta, della luce diretta: è stata chiamata *Catottrica* quella che considera la luce reflessa dalle superficie delli specchi, e *Diottrica* quella che ha per oggetto la luce refratta nel passare da un mezzo più denso in un mezzo più raro, e reciprocamente. Molti fisici avendo voluto osservare troppo rigorosamente l'ordine indicato da questa suddivisione, hanno mancato all'oggetto principale, quale è quello di ridurre l'idee stesse al metodo analitico, e di evitare di fare entrare nella spiegazione di un fenomeno certe cognizioni, le quali non saranno esposte che in seguito. Quindi nell'Ottica propriamente detta hanno compresi molti effetti della visione, per intendere i quali bisogna conoscere la struttura dell'occhio, mentre questa medesima struttura non può conoscersi se non con i principii della Diottrica.

Ecco l'ordine che noi seguiremo affine di conservare, per quanto sarà possibile, la connessione delle idee, e non anticipare alcuna verità che potesse restare oscura perchè annunziata prima del tempo.

Esamineremo da che cosa provenga la luce, sotto qual forma essa si spanda, qual sia la sua velocità, e con qual legge scemi la sua intensità a misura che si allontana dal corpo luminoso.

Da questi principii, che si riferiscono alla luce diretta, passeremo alle leggi generali della reflessione e della refrazione, ed esporremo quindi i fenomeni che riguardano la luce decomposta ed i colori.

Stabiliti questi principii, ne faremo l'applicazione alla vista tanto naturale quanto aiutata dalli strumenti di Catottrica e di Diottrica.

1. DELLA NATURA E DELLA PROPAGAZIONE DELLA LUCE.

998. Quando un corpo luminoso sparge su tutti gli altri corpi contenuti nella sua sfera uno splendore che ferisce i nostri occhi, e rende questi corpi visibili a noi, questo effetto fa supporre necessariamente l'esistenza d'un fluido che esercita la sua azione e sugli oggetti illuminati e sull'organo che li scorge.

Ma cosa è questo fluido? Cartesio lo riguardava come una materia sottile che riempie tutta la sfera dell'universo, e alla quale il corpo luminoso imprime un'agitazione, che vien trasmessa sempre più da vicino, come le vibrazioni del corpo sonoro si propagano per mezzo dell'aria. Questa ipotesi è ammessa da molti fisici moderni, i quali per adattarla al fenomeno della reflessione, e a quello della propagazione della luce, l'hanno alquanto modificata, supponendo che le particelle di questo fluido, in vece d'essere inflessibili e perfettamente contigue, come aveva pensato Cartesio, sieno elastiche, e lascino fra loro qualche piccolo intervallo. Newton al contrario supponeva che la luce provenisse da un'emissione, o da una corrente di particelle proprie del corpo luminoso, che esso emette incessantemente da tutte le parti, per effetto di una continua agitazione in cui si trova. Ma in quest ipotesi la luce, almeno in quanto alla maniera con cui è prodotta, sarebbe simile alle molecole emanate dai corpi odoriferi.

Un raggio di luce, secondo Cartesio, è un filo di molecole, il moto delle quali consiste in piccolissime oscillazioni che si vanno ripetendo continuamente; e secondo Newton è un filo di molecole che hanno tutte un moto di trasporto, e si succedono senza interruzione.

In ambedue queste ipotesi, ciascun punto di un corpo luminoso è considerato come il vertice comune d'un' infinità di coni sottilissimi, composti di raggi che si estendono indefinitamente, finchè veruu ostacolo non li arresta. Qualche volta questi coni medesimi si chiamano col nome di *raggi*, ed in tal caso l'asse del cono è la linea, alla quale si riferisce la direzione del moto della luce.

Il sistema di Cartesio è stato adottato da Eulero, con la differenza che abbiamo di sopra indicata, ed in conseguenza della quale la materia da cui dipende la propagazione della luce, e che egli chiama etere, è dotata di un' elasticità incomparabilmente maggiore di quella dell'aria (*a*).

L'opinione di Huygens sull'emissione della luce, è compresa la

(*a*) *Lettres à une Princesse d'Allemagne*. T. I., p. 86.

quella da noi ultimamente indicata; se non che varia il termine di comparazione al quale egli riferisce quest'emissione, ed egli la considera come l'effetto di un moto ondulatorio, impresso dal corpo luminoso alla materia eterea, e simile a quello prodotto da un sasso nell'acqua nella quale venga gettato.

999. Secondo questa medesima opinione, un punto luminoso è il centro di una sfera composta di archi concentrici che soffrono una dilatazione; mentre le loro particelle fanno piccole vibrazioni analoghe a quelle prodotte nell'aria nella trasmissione del suono. Ma di più ciascuna delle particelle che compongono l'onda, diviene essa pure il centro di un'onda particolare, di cui l'arco finale è tangente a quello dell'ondulazione totale. Quindi è che gli archi delle onde vicine si intersecano da ogni parte, dimanierachè le particelle dell'etere sono soggette a due sorte d'azioni, delle quali una è diretta secondo le linee perpendicolari alla superficie dell'onda totale, e l'altra che ha luogo sopra direzioni trasverse, deriva dalle pressioni scambievoli che le onde esercitano le une sulle altre per il medesimo verso. Ma per la simmetria che regna nelle situazioni di queste onde tanto fra loro quanto relativamente all'onda totale, queste pressioni si fanno equilibrio e si distruggono fra loro scambievolmente, dimanierachè la sola azione di cui l'effetto resti inalterato, è quella che fa muovere le particelle per il verso della perpendicolare; e da tutto questo Huygens conclude, che i raggi della luce possono considerarsi come altrettante linee rette.

1000. A malgrado dell'autorità rispettabile su cui è appoggiata ciascuna di queste due ipotesi, paragonandole sotto tutti i rapporti non potrà ricusarsi la preferenza a quella di Newton. A quella di Cartesio si oppone primieramente un'obiezione fortissima, alla quale non è stata data fin ora una soddisfacente risposta; poichè in questa ipotesi la luce non si spargerebbe solamente in linea retta, ma il suo moto verrebbe trasmesso per ogni verso, come quello del suono, e porterebbe l'impressione dei corpi luminosi negli spazii situati al di là degli ostacoli che si presentassero per arrestarli. Dovremmo dunque avere un giorno perpetuo; e nelle Ecclissi totali del Sole non avremmo mai quella disparizione della luce, che cambia a un tratto il chiarore di un giorno sereno in una notte profonda.

1001. Le difficoltà che si oppongono all'ipotesi newtoniana sono ben lungi dall'avere altrettanta forza. È stato opposto che i raggi della luce i quali ci son tramandati dagli astri in direzioni diversissime, si farebbero ostacolo fra loro, e non potrebbero continuare il loro moto rettilineo. Ma possiamo supporre che le molecole della luce essendo tenuissime, come tutto ce lo fa credere, le distanze che passano fra loro

sieno incomparabilmente maggiori dei loro diametri; e poichè le molecole di un raggio passano tanto più liberamente fra quelle degli altri raggi, o tanto sono meno esposte ad incontrarli, quanto è maggiore il rapporto fra le distanze ed i diametri, l'ostacolo diverrà quasi nullo, supponendo quasi infinito il rapporto (a).

Quindi necessariamente ne viene, che la quantità di luce somministrata dagli astri anco per un'immensa durata, sarà sì piccola, che il loro volume non apparirà sensibilmente scemato.

I seguaci dell'altra ipotesi non hanno da sciogliere queste difficoltà, perchè in questa ipotesi accade delle vibrazioni della luce ciò che accade delle vibrazioni dell'aria; e così può applicarsi ad esse ciò che dicemmo (§. 544) della propagazione dei suoni contemporanei, che si incrociano senza confondersi: ma il vantaggio che essa sembra avere a questo proposito, è già distrutto affatto dall'obiezione che abbiamo citata; e tutti i fatti che esporremo in seguito, tenderanno a confermare sempre più la preferenza dell'ipotesi newtoniana. In generale, questa non può accusarsi d'altro, se non che di condurre a conseguenze che feriscono l'immaginazione, lo che accade egualmente di moltissime verità che pur sono incontrastabili.

Del resto, quando anco essa non si dovesse riguardare come perfettamente dimostrata, meriterebbe pure d'essere adottata, solamente perchè conduce a una spiegazione facile e soddisfacente dei fenomeni, e specialmente di quelli della refrazione e dell'aberrazione, mentre è difficilissimo concepirli secondo l'ipotesi di Cartesio.

Indebolimento della Luce a misura che si allontana dai Corpi luminosi.

1002. Consideriamo ora uno dei coni di luce che hanno il loro vertice nei diversi punti d'un corpo luminoso, e immaginiamoci un piano che tagli questo cono perpendicolarmente al suo asse, e ciò per maggior semplicità. Se facciamo muovere questo piano parallelamente a se stesso, andando dal vertice verso la base, esso taglierà quei circoli che cresceranno in superficie come il quadrato della distanza dal vertice, la quale è misurata dalla porzione dell'asse tagliata nel tempo medesimo; e poichè esso riceve sempre uno stesso numero di raggi, ne resulta che l'intensità della luce in uno spazio dato, preso su questo piano, è in ragione inversa del quadrato della distanza. Dunque se si suppone che un tal piano sia il circolo della pupilla dell'occhio, se ne con-

(a) Smith, *Traité d'Optique*, trad. franç.; 1767; p. 721.

cluderà, che la luce ricevuta da questo occhio deve indebolirsi nel rapporto stesso, a misura che esso si allontana dal corpo luminoso.

Se l' occhio, situato primieramente a una certa distanza da un lume, se ne allontani quindi a una distanza tripla, i raggi che nel primo caso passavano per la pupilla, si spargeranno sopra uno spazio nove volte maggiore, e però la pupilla ne riceverà soltanto la nona parte: dunque, volendo che l'impressione fatta sull'occhio fosse sempre la stessa, bisognerebbe sostituire al primo lume un altro di una luce nove volte maggiore, cioè nove volte più abbondante sul medesimo spazio.

Dell' Ombra.

1003. Un corpo opaco non può mai essere illuminato che in parte da un corpo luminoso, e lo spazio privo di luce situato dalla parte non illuminata, è ciò che si chiama *ombra*. Dunque l'*ombra* propriamente detta rappresenta un solido, la forma del quale dipende nel tempo stesso da quella del corpo luminoso, da quella del corpo opaco, e dalla situazione di questo, relativamente al corpo luminoso.

1004. Supponiamo che i due corpi sieno due globi *r*, *z* (*fig.* 28), e che il diametro del corpo luminoso *r* sia maggiore di quello del corpo opaco *z*: l'ombra sarà un cono che potrà determinarsi, supponendo una linea retta *o c* che unisca i centri dei due globi, e quindi conducendo una tangente *d b* comune ai due globi, fino all' incontro in *a* di questa medesima linea prolungata. Se ci immaginiamo che la tangente, restando fissa nel punto *a*, in cui taglia la linea che unisce i centri, giri intorno a questa linea, in modo da far sempre il medesimo angolo con essa, è chiaro che quella descriverà la superficie di un cono, che avrà per base il circolo del globo opaco, terminato da tutti i punti di contatto; dal che apparisce che la parte illuminata del globo opaco sarà maggiore della parte oscura, poichè il piano che divide l'una dall'altra è uno dei circoli minori del globo, situato nell'emisfero opposto a quello che è in faccia al corpo luminoso.

1005. Se i due globi sono eguali, l'ombra sarà un cilindro d' una lunghezza indefinita, e la parte illuminata del globo opaco sarà un emisfero, egualmente che la parte oscura.

1006. Se il globo opaco è più grosso del globo illuminante, l'ombra diverrà un cono tronco d'una lunghezza parimente indefinita, i punti del quale, che sono a contatto col globo opaco, saranno sulla circonferenza di uno dei suoi circoli minori, dimanierachè la parte illuminata di questo globo sarà minore della sua parte oscura.

1007. L'ombra, considerata sopra un piano situato dietro al corpo

opaco che la produce, non è altro che la sezione di questo piano nel solido che rappresenta l'ombra; dal che segue che nel caso dei due globi citati per esempio, la figura dell'ombra sopra un piano sarà un circolo, un'ellisse o qualche altra sezione conica, secondo le situazioni del piano, relativamente al cono d'ombra formato dall'interposizione del corpo opaco fra questo piano e il corpo luminoso.

1008. Quando l'ombra d'un corpo è portata sopra un piano, non succede, con un passaggio distinto, alla luce che illumina le parti circostanti; ma questa prova una specie di degradazione, per mezzo della quale la sua intensità va sempre scemando, dai punti più illuminati fino allo spazio occupato dall'ombra pura, ossia ombra propriamente detta. Sia nuovamente r (*fig.* 29) il corpo luminoso, z il corpo opaco, e uy un piano situato dietro a questo; px rappresenterà il profilo dell'ombra pura. Ora conduciamo le linee nl, qs, fh, ec., tangenti al globo opaco z, e che vadano ad incontrare il globo luminoso, e limitiamoci a considerare ciò che accade dalla parte sinistra del punto p, andando verso u. La linea fh tangente ai due globi, essendo alla maggior distanza possibile da p, fra tutte le linee che possono arrivare al globo r, chiaramente si vede che il punto f, e con più ragione i punti più lontani verso u, ricevono altrettanti raggi, come se il globo z non esistesse, cioè ricevono tutti quelli che partono dai punti compresi fra h e d; ma che il punto q non riceve alcuno dei raggi tramandati dai punti situati fra h ed s; che il punto m è privo di tutti quelli che hanno per origine i punti compresi fra h e l; e finalmente che tutti i raggi tramandati dalla parte del globo r voltata verso il piano uy, sono perduti per il punto p; dal che segue che l'effetto della luce scema progressivamente da f fino a p, che è il limite dello spazio px, occupato dall'ombra pura. È stata chiamata *penombra* questa luce gradatamente decrescente, la quale si estende, da una parte, dal punto f fino in p, e da un'altra da g fino in x. Gli astronomi si servono della considerazione della penombra nella teoria delle ecclissi, e noi ce ne serviremo quando parleremo della luce decomposta per mezzo del prisma.

1009. L'ombra pura d'una verga perpendicolare o obliqua sopra un piano è un triangolo che potrà determinarsi, conducendo dal vertice della verga una retta che vada a toccare il corpo luminoso, e che faccia con la verga il minor angolo possibile. I lati del triangolo saranno: 1.° la porzione di questa retta compresa fra il vertice della verga e il piano dato; 2.° la verga stessa; 3.° la linea condotta dal piede della verga fino all'incontro della retta suddetta: quest'ultima linea sarà l'ombra considerata sul piano dato; essa crescerà e scemerà a misura che l'angolo, il vertice del quale si confonde con quello della verga, sarà più o meno ottuso, cioè

a misura che il corpo luminoso si abbasserà o si alzerà, relativamente al piano dato; e se questo corpo stesso si allontana a destra o a sinistra dalla situazione che aveva in principio il triangolo che determina l'ombra, questa si muoverà sul piano con moti in direzione contraria. Su questi principii è fondata la *Gnomonica*, ossia l'arte di disegnare gli orologi solari (*a*).

Celerità della luce.

1010. È stato creduto per lungo tempo che il moto della luce fosse istantaneo; ma questa opinione dipendeva dall'ignoranza dei mezzi di determinare la tanta velocità del suo moto: ma finalmente Roemer e Cassini scoprirono una misura di questo moto nell'osservare le ecclissi del primo satellite di Giove; il qual pianeta avendo un diametro minore di quello del Sole, il circolo che separa la sua parte illuminata dalla sua parte oscura, è la base d'un'ombra conica situata verso di questa. I satelliti che girano intorno al pianeta principale entrano in questo cono e ne escono successivamente, dimanierachè la loro parte illuminata diviene oscura, e sparisce a misura che essi si immergono nel cono d'ombra, per comparire quindi di nuovo quando escono da quello. Se supponiamo che la Terra si avvicini al punto in cui si troverebbe sulla medesima linea retta fra Giove e il Sole, passeranno circa 42 ore $\frac{1}{2}$ fra la fine dell'ecclisse del primo satellite di Giove e quella dell'ecclisse seguente. Immaginiamoci ora che la Terra, percorrendo la metà della sua orbita, si sia situata verso il punto opposto, in modo che allora si trovi dietro al Sole, relativamente a Giove. Se la luce non avesse alcun moto progressivo, uno spettatore situato sulla Terra vedrebbe il primo satellite di Giove escire dall'ombra, dopo un tempo eguale a 42 ore $\frac{1}{2}$ tante volte,

(*a*) Per mezzo dell'ombra formata sopra un terreno orizzontale, si può misurare a poco a poco l'altezza d'una torre o d'un altro simile oggetto. Si pianti verticalmente un bastone, di cui si misuri la porzione elevata sopra il terreno, e si misuri egualmente l'ombra del bastone e l'ombra della torre. Le lunghezze dell'ombre essendo proporzionali alle altezze dei due oggetti che le producono, conosceremo l'altezza della torre, moltiplicando la lunghezza della sua ombra per l'altezza del bastone, e dividendo il prodotto per la lunghezza dell'ombra del bastone (*).

(*) *Sia* o *l'ombra del bastone*, a *la sua lunghezza sopra il terreno*, O *l'ombra della torre*, A *la sua altezza cercata. Poichè gli effetti sono proporzionali alle cause, l'ombre saranno proporzionali agli oggetti che le producono; dunque avremo* $o : O :: a : A = \frac{O \times a}{o}$.

quante ecclissi vi fossero state dal momento in cui la Terra era fra Giove e il Sole. Ma ciò non accade così, perchè in tal caso lo spettatore vede il fine dell'ecclisse circa 16 minuti più tardi di quello che resulta dal calcolo; sicchè in tutte le situazioni intermedie, la differenza è andata sempre crescendo fino a questo limite. Ma allora lo spettatore è a una distanza dalla sua prima situazione misurata dal diametro dell'orbita terrestre, di cui ha percorso la metà, ed è noto che questo diametro è circa settanta milioni di leghe. Dunque è stato concluso che la luce impiega 16 minuti a percorrere questa distanza, cioè più di quattro milioni di leghe per minuto: dunque la luce che ci viene immediatamente dal Sole non giunge ai nostri occhi che dopo otto minuti. Combinando il moto progressivo della luce con quello della Terra nella sua orbita, si spiega l'aberrazione delle Stelle, cioè il moto apparente che le allontana dal punto a cui dovremmo riferirle nel cielo. Conosciuta in tal modo la celerità della luce, si trova, per l'aberrazione, una quantità eguale a quella che resulta dall'osservazione, il che prova nel tempo stesso e la giustezza della spiegazione, e quella della conseguenza dedotta dal ritardo che soffrono le ecclissi di Giove. Ma in seguito esamineremo più particolarmente il fenomeno dell'aberrazione.

Dell' Aurora boreale.

1011. Descriveremo qui una meteora che i moderni hanno chiamata *aurora boreale*, e che noi non considereremo se non come un semplice fenomeno di luce, del quale non è fin ora ben nota la cagione. Negli antichi scrittori si trova che questo fenomeno era stato osservato da lungo tempo; ciascuno lo descriveva a suo modo, secondo i diversi aspetti sotto i quali esso si presentava, e veniva chiamato con diversi nomi come di *lampade*, di *torce ardenti*, di *razzi*, ec; ma solamente nel secolo passato è stato studiato secondo le regole di una sana Fisica, e nessuno più di Mairan ha cercato di determinarne le circostanze, delle quali riporteremo qui le principali (*a*). Questo fenomeno comparisce quasi sempre dalla parte del Nord, tendendo un poco verso l'Ovest: principia ordinariamente tre o quattro ore dopo il tramontar del Sole, e si annunzia con una specie di nebbia che presenta quasi la figura di un segmento di circolo, di cui l'orizzonte forma la corda. La parte visibile della sua circonferenza comparisce ben presto cinta nell'orlo d'una luce biancastra, da cui resulta un arco luminoso, o molti archi concentrici,

(*a*) *Traité physiq. et historiq. de l'Aurore boréale*, p. 115 e seg.

distinti dagli orli composti della materia oscura del segmento. Getti e raggi di luce diversamente colorati partono quindi dall'arco, o per dir meglio dal segmento nebuloso, dove nasce sempre qualche traccia luminosa da cui sembrano aver origine quei raggi. Quando il fenomeno cresce, occupando quindi una grande estensione, il suo progresso si manifesta con un moto generale e con una specie di torbido in tutta la massa. Numerose tracce si formano e spariscono in un momento nell'arco e nel segmento oscuro; e vibrazioni di luce e lampi colpiscono, quasi a scosse, tutte le parti della materia del fenomeno, che occupano l'emisfero visibile del cielo. Finalmente, quando questa materia giunge alla sua massima estensione, si forma allo zenit una corona accesa, che è come il punto centrale in cui sembrano riunirsi tutti i moti delle parti circonvicine. Questo è il momento in cui il fenomeno apparisce nella sua più gran magnificenza, tanto per la varietà delle figure luminose, che quasi scherzano in mille modi nelle alte regioni dell'atmosfera, quanto per la bellezza dei colori di cui sono adorne per la maggior parte. Il fenomeno va quindi gradatamente scemando, in maniera però che i getti luminosi e le vibrazioni si rinnovano di tanto in tanto: ma finalmente il moto cessa, la luce che occupava le parti meridionali e quelle dell'oriente e dell'occidente, si ristringe e si riconcentra nella parte boreale; il segmento oscuro si illumina, e finalmente si estingue, qualche volta a un tratto, e qualche volta lentamente, se pure non si prolunga talora fino a gettarsi nel crepuscolo della mattina, come accade nella maggior parte delle grandi aurore boreali.

1012. Questo fenomeno fu attribuito in principio ai vapori ed alle esalazioni della terra, le quali dopo essersi mescolate fra loro entravano in fermentazione, e finalmente si accendevano. Altri immaginarono che i ghiacci e le nevi della zona polare, riflettevano i raggi solari verso la superficie concava degli strati superiori dell'atmosfera, di dove questi raggi erano quindi respinti verso di noi, e producevano tutte le apparenze prodotte dall'aurora boreale.

1013. Gli antichi fra le diverse cause da cui facevano dipendere questo fenomeno, dovevano pensare all'elettricismo; ma la spiegazione d'una teoria fondata su questa causa, apparteneva quasi di diritto a Francklin. Secondo l'opinione di questo gran fisico, il fluido elettrico trasportato dall'equatore verso le regioni polari, dalle nubi che ne erano cariche, scendeva con la neve sul ghiaccio che copre queste regioni, e dopo esservisi accumulato, saliva nuovamente a traverso dell'atmosfera. Giunto quindi nel voto che era al di sopra di essa, si dirigeva dalla parte dell'equatore, divergendo come i meridiani; e là esso formava quei getti

di luce e tutte quelle varietà di figure che si osservano nello spettacolo d'un'aurora boreale (a). Del resto, Francklin non propone questa idea che in dubbio; e nella prima opera in cui egli la pubblicò, termina con queste espressioni, che contengono il giudizio che egli stesso ne aveva formato: « ciò potrebbe passare per una spiegazione dell'aurora bo« reale » (b).

1014. Mairan nello studiare tanto profondamente le circostanze dell'aurora boreale, ebbe in mira di stabilire sempre più l'opinione particolare che egli si era formata sull'origine di questo fenomeno. Ecco i principii sui quali egli la fondava.

Alcune osservazioni indicano che il Sole è circondato da un'atmosfera luminosa per se stessa, o illuminata soltanto dai raggi di questo astro; e una tale atmosfera è stata riguardata come la cagione d'un altro fenomeno, che si chiama *luce zodiacale*. Questa luce che è debole e biancastra, comparisce principalmente verso la primavera, poco dopo il tramontar del Sole, o verso la fine dell'inverno, poco prima del suo sorgere (c). Mairan suppone che l'aurora boreale accada quando la materia dell'atmosfera solare si avvicina tanto alla terra, da esser più soggetta all'attrazione di questo pianeta che a quella del Sole. E quando è entrata nella sfera di attività della terra, essa cade nella nostra atmosfera, e subito il moto circolare più rapido delle particelle d'aria situate verso l'equatore la respinge verso i poli, dove è minore la forza di rotazione. Questa è la ragione per cui l'aurora boreale comparisce più spesso dalla parte del Nord. Mairan si sforza quindi di provare con i medesimi principii tutte le circostanze del fenomeno.

Poichè la situazione dell'aurora boreale, che secondo Mairan ha la sua sede nell'atmosfera, è qualche volta elevata a più di 260 leghe sopra la superficie della terra (d), questo fisico aveva dovuto supporre quest'atmosfera ad un'altezza incomparabilmente maggiore di quella che era stata creduta fino allora. L'obiezione gli fu fatta dal celebre Eulero, che nel tempo stesso propose sulla causa delle aurore boreali una nuova opinione (e), la quale Mairan dal canto suo si sforzò pure di combattere (f). Secondo questa opinione i raggi solari esercitando il loro impulso

(a) *Journal de Physique*, *Juin* 1779, p. 409 e seg.

(b) *Expér. et Observat. sur l'électricité*, Paris, 1752, p. 118.

(c) Mairan, *Traité de l'Aurore boréale*, p. 12.

(d) *Ibid.*, p. 62.

(e) *Recherches physiques sur la cause des queues des comètes, de la lumière boréale et de la lumière zodiacale*; *Mémoires de l'Académie de Berlin*, 1746, t. II.

(f) *Traité de l'Aurore boréale*; *septième éclaircissement*, p. 341 e seg.

sulle particelle dell'atmosfera, le spingono a una gran distanza, e le rendono luminose, reflettendosi sulla loro superficie. Eulero estendeva questa spiegazione all'apparizione delle code delle comete, e a quella della luce zodiacale, in virtù d'un simile impulso, che da una parte operava sull'atmosfera delle prime, e dall'altra su quella del Sole medesimo.

1015. Finalmente alcuni fisici hanno riguardato il fluido magnetico come la causa delle aurore boreali; e la somiglianza osservata in certi casi fra le sue apparizioni e gl'impazzamenti dell'ago calamitato (§. 931), sembrava confermare questa opinione. Da alcune più moderne osservazioni di Dalton e di Arago, si rileva almeno una certa connessione fra le cause dell'aurora boreale e quelle del magnetismo terrestre. Questi due fisici hanno riconosciuto, che il punto del cielo in cui concorrono i raggi di luce diversamente colorati, che spiccano dal segmento nebuloso indicato di sopra, è precisamente quello, verso il quale si dirige un ago calamitato sospeso per il suo centro di gravità; e che i circoli concentrici che appariscono prima del getto luminoso, sono sopra due parti dell'orizzonte egualmente lontane dal meridiano magnetico, dimanierachè questo piano contiene i vertici di tutti gli archi (a). Arago deduce da ciò questa conseguenza, che l'aurora boreale, egualmente che l'arco baleno, è un fenomeno di situazione; cioè che ciascun osservatore vede la sua particolare aurora boreale, poichè il meridiano magnetico è diverso secondo i diversi punti della superficie del globo.

Dopo tutto ciò che abbiamo detto su questo proposito, sembra che sieno state esaurite tutte le ipotesi per spiegare l'aurora boreale; ma l'incertezza che resta tuttavia su tutto ciò che riguarda questo fenomeno, prova maggiormente che le più antiche cognizioni non sono sempre le migliori.

2. DELLA REFLESSIONE E DELLA REFRAZIONE DELLA LUCE.

Dopo avere esposto la maniera con cui si propaga il fluido luminoso, quando le sue molecole libere in mezzo dello spazio seguono costantemente la strada per cui si diressero, partendo dal corpo che le tramandò, dobbiamo ora considerare i cambiamenti che soffre il fluido stesso, nella direzione del suo moto, incontrando qualche corpo nel suo cammino.

(a) *Annal. de Chimie et de Physique* t. X, p. 120.

Legge della Reflessione.

1016. Quando un raggio di luce, nel momento in cui giunge alla superficie di un corpo, si ripiega verso quel mezzo a traverso del quale era passato, questa deviazione si chiama *reflessione*. L'angolo formato dalla prima direzione del raggio con un piano tangente al punto della superficie in cui il raggio la incontra, è ciò che si chiama angolo d'*incidenza*; e l'angolo formato dalla nuova direzione del raggio col piano stesso, si chiama angolo di *reflessione*; ed è provato dall'osservazione che l'angolo di reflessione è sempre eguale all'angolo d'incidenza.

Reflessione sulle superficie piane.

1017. Da quanto abbiamo detto resulta, che se varii raggi paralleli fra loro incontrano, a qualunque angolo, una superficie piana reflettente, dopo la lor reflessione resteranno paralleli.

1018. E se i raggi in vece d'esser paralleli sono convergenti o divergenti, essendo sempre piana la superficie reflettente, dopo la loro reflessione conserveranno il grado stesso di convergenza o di divergenza: per esempio, se i raggi sono convergenti, si può considerare l'unione dei raggi incidenti come un cono tronco, e i raggi reflessi possono considerarsi come quelli che formano la porzione staccata del cono che si è situato sopra la superficie reflettente; dimanierachè la sua base resta pur sempre confusa con la base minore del cono troncato. Questa considerazione può facilmente applicarsi al caso dei raggi divergenti. Da ciò apparisce, che nella reflessione sulle superficie piane, i raggi non fanno che cambiare strada, senza che venga disturbata la loro respettiva situazione. Non accade lo stesso in quanto alla reflessione sulle superficie curve, perchè essa fa variare nel tempo stesso e le direzioni e le situazioni respettive dei raggi.

Reflessione sulle superficie concave.

1019. Supponiamo concava la superficie reflettente (*fig.* 30), e che faccia parte d'una superficie sferica, e sieno *hm*, *ac* due raggi incidenti paralleli: conducendo le tangenti *tms*, *ocy* ai punti d'incidenza, e per il punto *c* la secante *nz* parallela a *ts*, osserveremo che se l'incidenza del raggio *ac* cadesse sulla secante *nz*, essendo *mg* il raggio reflesso che appartiene al raggio incidente *hm*, la linea *ck* parallela ad *mg* sarebbe il

raggio reflesso, relativo al raggio incidente *ac*. Se ora si considera l'incidenza del raggio *ac* sulla tangente *oy*, è chiaro che avremo l'angolo *kcy* minore dell'angolo d'incidenza *aco*. Dunque per dare a *ck* la situazione che conviene alla reflessione sopra *oy*, bisogna accrescere l'angolo *kcy*; e in conseguenza il raggio reflesso, come *cb*, convergerà con *mg*, e lo taglierà.

1020. Supponiamo che *ac*, restando fisso con l'estremità *c*, si allontani dal raggio *mh* con la sua estremità *a*, nel qual caso i raggi incidenti convergeranno fra loro: essendo cresciuto l'angolo d'incidenza *aco*, bisognerà che cresca ancora l'angolo di reflessione *bcy*; dal che segue che i raggi reflessi convergeranno più dei raggi incidenti, perchè questi cominciaron paralleli, e però la loro convergenza era nulla, mentre al contrario *cb* convergeva già con *mg*. Se al contrario *ac* si avvicina ad *hm* con la sua estremità *a*, nel qual caso i raggi incidenti divergeranno, trovandosi scemato l'angolo d'incidenza *aco*, scemerà pure l'angolo di reflessione *bcy*; e quindi i raggi reflessi *mg*, *cb* convergeranno sempre meno, a misura che *ac* si inclinerà verso *hm*; dimanierachè in un certo punto i raggi *mg* e *cb* diverranno paralleli, e passato questo punto saranno essi pure divergenti, quantunque meno dei raggi incidenti che cominciarono dall'esser paralleli.

Tutto ciò che abbiamo detto comprende la spiegazione e la prova dei principii seguenti: la reflessione sulle superficie concave sferiche rende convergenti i raggi che erano paralleli prima della loro incidenza: essa accresce la convergenza di quelli che già convergevano; e relativamente a quelli che divergevano, essa può, secondo le circostanze, renderli o convergenti o paralleli o ancora divergenti, quantunque però sempre meno dei raggi incidenti.

Fuoco dei raggi paralleli.

1021. Consideriamo ora la reflessione di due raggi incidenti *ns*, *rp* (*fig.* 31), paralleli tanto fra loro, quanto al raggio *ac* della sfera alla quale appartiene la superficie reflettente, e situati a distanze eguali da questo raggio: condotto un altro raggio *cs* al punto d'incidenza del raggio *ns*, avremo l'angolo *nsc* eguale all'angolo *csm*, poichè questi angoli sono i complementi degli angoli d'incidenza e di reflessione *nsy*, *mst*: inoltre, poichè *ns* è parallela a *ca*, l'angolo *csn* è eguale ad *scm*; dunque il triangolo *cms* è isoscele, e però *ms* è eguale a *cm*: e poichè *ms* è maggiore di *ma*, sarà pure *cm* maggiore di *ma*; dunque i raggi paralleli *ns*, *rp* si refletteranno sempre in un punto, situato sotto la metà superiore *ef* del raggio *ca*.

Ora se si supponga che i raggi *ns*, *rp* si avvicinino gradatameute al raggio della sfera, il punto *m* nel quale accade la reflessione si avvicinerà parimente al punto *f*, dimanierachè, qnando saranno a una distanza infinitesima da *ca*, il punto in cui si refletteranno, si confonderà sensibilmente col punto *f*.

1022. Dall'altra parte, se ci immaginiamo varii raggi incidenti *ns*, *db*, *ki*, ec. (*fig.* 32) tutti paralleli all'asse, ed egualmente distanti gli uni dagli altri, gli angoli d'incidenza di quelli che sono sensibilmente lontani dall'asse, a misura che essi se ne allontaneranno, differiranno fra loro molto più di quelli dei raggi vicini al medesimo asse, perchè le inclinazioni dei piccoli archi sui quali cadono i primi raggi, vanno rapidamente crescendo, meutre in vicinanza dell'asse gli archi si allontanano poco dalla direzione perpendicolare, relativamente ai raggi corrispondenti ad essi. Da ciò segue che in un fascio di raggi che cadono parallelamente al raggio della sfera sulla curva *oag*, tutti quelli che sono poco distanti dall'asse, dopo la lor reflessione concorrono sopra un piccolissimo spazio, situato quasi nel mezzo *f* del raggio della sfera. Questo piccolo spazio si considera come un punto, e si chiama *il fuoco dei raggi paralleli*, di cui esporremo in seguito le proprietà.

Fuoco dei Raggi divergenti.

1023. Il raziocinio che abbiamo fatto relativamente a un fascio di raggi paralleli sottilissimi, può applicarsi, fino a un certo punto, a un sottil cono di raggi incidenti, come *rs*, *rm* (*fig.* 33), provenienti da un punto *r* dell'asse, preso sopra il centro, e diretti in modo, che facendo fra loro angoli piccolissimi, fossero quasi paralleli. In tal caso i raggi reflessi *sf*, *mf*, e tutti gli altri che fanno parte del cono, concorrono pure molto sensibilmente in *f*, sopra un piccolo spazio, che può riguardarsi egualmente come una specie di fuoco; e facilmente si comprende che la situazioue di questo fuoco deve variare insieme col punto *r*.

Reciprocamente, se snpponiamo che il cono di luce parta da uno dei fuochi *f*, indicati nell'ammessa ipotesi, il punto *r* diverrà esso pure il fuoco relativamente ad *f* considerato come punto di partenza. Questi resultamenti, che in seguito esamineremo più minutamente, ci saranno utili per concepir meglio i fenomeni degli specchi concavi (*a*).

(*a*) Può facilmente determinarsi col calcolo la situazione del fuoco di cui qui si parla. A tal oggetto consideriamo la cosa in un modo più generale, che potrà poi applicarsi agli effetti prodotti dagli specchi medesimi. Sieno *rn*, *rm*

Reflessione sulle superficie convesse.

1024. Tutti gli effetti precedenti accadono in modo contrario nella reflessione sulle superficie convesse che fanno parte di quella di una sfera; poichè se si prolunghino dietro alla superficie concava i raggi incidenti e i raggi reflessi, che si riferiscono a questa superficie, resulterà la repetizione dei medesimi angoli d'incidenza e di reflessione, relativamente alla convessità della medesima superficie, sopra tangenti comuni; se non che i raggi che erano considerati come convergenti nel primo caso, si

(*fig.* 34) due raggi incidenti che incontrino la superficie concava *tgq*, in qualunque direzione, purchè facciano fra loro un angolo acutissimo, e si cerchi di determinare il punto di concorso *f* dei raggi reflessi *ne*, *my*.

Conduciamo il raggio *cn*, quindi i seni *ch*, *ce* degli angoli eguali *cnr*, *cnu*, e dividiamo pure in due parti eguali i coseni *nh*, *ne*, nei punti *l*, *i*: conduciamo inoltre *nx* perpendicolare sopra *rm*, ed *nz* perpendicolare sopra *ym* prolungata.

I piccoli triangoli *nxm*, *nzm* hanno ciascuno un angolo retto, uno in *x*, l'altro in *z*. Inoltre $nmz = fmq = xmn$: dunque i due triangoli che hanno di più l'ipotenusa comune *mn*, sono simili ed eguali.

Inoltre i triangoli *rhs*, *rxn* son simili, come pure i triangoli *fzn*, *fcy*. Finalmente *cs* e *cy* potendosi riguardare, senza errore sensibile, come i seni degli angoli eguali *cms*, *cmy*, le loro differenze dai seni eguali *ch*, *ce*, sono eguali, dunque $sh = cy$.

Ciò premesso, avremo da una parte, $rn : rs$ o $rh :: nx : hs$; e dall'altra $nf : fe :: nz : cy$. Ma $nz = nx$, e $hs = cy$, dunque $rn : rh :: nf : fe$, oppure $rn + rh : rn :: nf + fe : nf$; ossia $rn + rn - nh : rn :: ne : nf$.

Se sia $rn = a$, *nh* o $ne = b$, la proporzione diverrà $2a - b : a :: b : nf = \frac{ab}{2a - b}$.

Se lo specchio fosse convesso verso il punto *r* avremmo $nf = \frac{ab}{2a + b}$.

Se si supponga che la linea *nr* restando fissa nel punto *n* si avvicini al raggio *cn* finchè coincida con esso, la linea *un* caderà parimente sopra *cn*, e i punti *f*, *r* saranno sulla direzione di questo medesimo raggio, come si vede nella *fig.* 33. Allora l'angolo d'incidenza *cnr* (*fig.* 34) divenendo nullo, il suo coseno *nh* è eguale al raggio *cn*; sicchè, per esempio, se sia $cn = d$, avremo (*fig.* 33) $nf = \frac{ad}{2a \mp d}$.

Se nel medesimo caso supponiamo che il punto *r* si allontani infinitamente, la quantità *d* sparisce in confronto di $2a$, e sarà $nf = \frac{d}{2}$, resultamento eguale a quello che trovammo (§. 1021) relativamente al punto *f*, considerato come fuoco dei raggi paralleli.

riguarderanno come divergenti nel secondo, e reciprocamente. Per esempio, se si prolunghino dietro alla superficie *ucz* (*fig.* 35) i raggi *hm*, *ac*, *gm*, *bc*, i raggi incidenti relativi alla convessità della superficie saranno *h'm*, *a'c*, paralleli fra loro come i primi; e i raggi reflessi saranno *mg'*, *cb'*, che divergeranno fra loro.

1025. In conseguenza di quanto abbiamo detto, i principii relativi alla reflessione sulle superficie convesse sferiche si deducono da quelli della reflessione sulle superficie concave, con un semplice cambiamento di termini, dimanierachè devono indicarsi così: la reflessione sulle superficie convesse rende divergenti i raggi che erano paralleli prima della loro incidenza, e accresce la divergenza di quelli che già divergevano; e relativamente a quelli che convergevano, essa può, secondo le circostanze, renderli divergenti, o paralleli, o ancora convergenti, quantunque meno dei raggi incidenti.

1026. Nel medesimo caso la reflessione dei raggi paralleli fra loro e all' asse prima della loro incidenza, accaderà sempre in modo, che prolungando i raggi reflessi sotto la convessità, questi anderanno a riunirsi in un punto situato fra il mezzo del raggio della sfera, e il punto in cui questo raggio taglia la superficie reflettente: e applicando qui il raziocinio che facemmo in quanto alla reflessione sopra una superficie concava, si concluderà che in un fascio di raggi i quali cadono sopra una superficie convessa, parallelamente fra loro e all' asse, quelli che saranno vicini a questo asse tenderanno a riunirsi in un fuoco immaginario, situato quasi sulla metà del raggio della sfera.

Legge di Refrazione.

1027. Quando la luce incontra un corpo diafano, a traverso del quale può passare; soffre un' altra specie di deviazione, di cui passiamo ora ad esporre le leggi. In generale si chiamano *mezzi* quei corpi fra la sostanza dei quali può penetrare la luce. Il punto per cui un raggio di luce entra in un mezzo, si chiama *punto d' immersione*, e quello per il quale ne esce, si chiama *punto di emergenza.* Se il raggio incontra perpendicolarmente la superficie di un mezzo, prosegue la sua strada per questo; ma se l' incidenza è obliqua alla superficie del mezzo, il raggio devia dalla sua strada, dimanierachè sembra spezzato nel punto d' immersione; e questa deviazione si chiama *refrazione*, e la porzione del raggio che la soffre si chiama *raggio rotto* o *raggio spezzato.* L' *angolo d' incidenza* è quello che fa il raggio incidente con una perpendicolare condotta per il punto d' immersione sulla superficie del mezzo; e l' *an-*

golo di refrazione è quello che fa il raggio spezzato con la medesima perpendicolare.

1028. Ciò premesso, può accadere che la luce passi da un mezzo più raro in un mezzo più denso, o da un mezzo più denso in un mezzo più raro. Nel primo caso il raggio spezzato si avvicina alla perpendicolare nel punto d'immersione, e nel secondo se ne allontana. Resulta inoltre dall'osservazione, che il seno dell'angolo d'incidenza e quello dell'angolo di refrazione sono in un rapporto costante, quando il mezzo dal quale esce la luce e quello in cui entra restano li stessi, e ciò accade qualunque sia l'obliquità del raggio incidente. Se la luce passa dall'aria nel vetro, il seno d'incidenza starà a quello di refrazione come 3 : 2; e se passa dall'aria nell'acqua, il rapporto sarà di 4 : 3. Si verifica pure lo stesso rapporto in modo contrario, quando la luce si refrange di nuovo nel punto di emergenza, rientrando nel primo mezzo; cioè se la luce torna dal vetro nell'aria, il rapporto dei seni sarà di 2 : 3, e se torna dall'acqua nell'aria, sarà di 3 : 4.

1029. Da ciò segue, che se le due superficie del mezzo a traverso del quale passa la luce sono parallele fra loro, la luce nel passar nuovamente nel mezzo circostante, prenderà una direzione che sarà essa pure parallela a quella del raggio incidente. Molte sostanze minerali hanno la proprietà singolare di far dividere il raggio che passa a traverso di esse, e farlo dividere in due parti che vanno per due diverse direzioni, e ciò si chiama *doppia refrazione*. Parleremo in seguito più estesamente di questa proprietà, e procureremo di spiegarne la teoria relativamente a un minerale conosciuto sotto il nome di *spato d'Islanda*, minerale adattatissimo all'osservazione di questo fenomeno.

Refrazione nei Mezzi terminati da superficie curve.

1030. Una superficie curva può riguardarsi come la riunione d'un'infinità di piccoli piani diversamente inclinati fra loro. Quando un cono di luce cade sopra una porzione d'una di queste superficie, e il corpo a cui questa appartiene è diafano, ciascun raggio soffre, relativamente al piccolo piano che lo riceve, una refrazione secondo la legge sopra indicata. Ma a motivo delle particolari inclinazioni di tutti i piccoli piani che compongono la superficie refrangente, i raggi refratti prendono, gli uni relativamente agli altri, certe direzioni che dipendono dalla figura del mezzo, e, secondo le circostanze, tendono verso uno stesso punto in direzioni che convergono o divergono più dei raggi incidenti. Nello studiare queste diverse maniere con cui si refrange la luce,

gli ottici son giunti a costruire quegli strumenti sì utili, col soccorso dei quali i raggi tramandati da un corpo che l'occhio nudo non potrebbe distinguere, giungono ordinati a questo organo, come se l'oggetto si fosse avvicinato ad esso convenientemente alla sua potenza visiva, e glielo rendono visibile, mostrandoglielo in un luogo dove realmente non è.

CASO IN CUI IL MEZZO È TERMINATO DA UNA SOLA SUPERFICIE CURVA.

1031. Sia mhn (*fig* 36.) una porzione di superficie sferica, e sieno sk, st due raggi incidenti partiti da un punto s preso sul prolungamento dell'asse ch; e supponiamo che questi raggi sieno vicinissimi al medesimo asse, e facciano con esso angoli eguali. Le perpendicolari ug, zl nei punti d'immersione sono necessariamente su i prolungamenti dei due raggi del circolo a cui appartiene l'arco mhn, e il centro del quale è c; dunque queste perpendicolari convergono verso l'asse ch; e se supponiamo che il mezzo M di cui è composta la materia della sfera, sia più denso del mezzo E percorso dai raggi incidenti, si vede chiaramente che i raggi spezzati kr, tq, avvicinandosi alle perpendicolari, si avvicineranno pure all'asse. Inoltre se il punto s è a una giusta distanza dalla superficie mhn, gli stessi raggi convergeranno verso un punto f dell'asse in cui si riuniranno. Tutti gli altri raggi partiti dal punto s, che si chiama il *punto raggiante*, e che insieme con i precedenti compongono un cono sottilissimo, la base del quale ha il punto h per centro, e il piccolo arco kt per diametro, convergeranno egualmente gli uni verso gli altri, dimanierachè dietro alla superficie mhn si formerà un nuovo cono opposto al primo con la sua base, e che avrà in f il suo vertice. Il qual vertice però a tutto rigore è piuttosto uno spazio, di cui il punto f è una porzione, ma che a motivo della sua piccolezza può riguardarsi come confuso con quel punto che si chiama *fuoco* dei raggi partiti dal punto raggiante s.

1032. Sulla considerazione dei fuochi principalmente è fondata la costruzione degli strumenti d'ottica, perchè le immagini che osserviamo per mezzo di essi, non son altro che riunioni di fuochi, che provengono dai punti raggianti situati sulla superficie degli oggetti medesimi; dal che resulta che le distanze fra questi punti e le lenti alle quali essi tramandano i raggi, variano continuamente a misura che lo spettatore cambia situazione, o osserva successivamente diversi oggetti più o meno lontani.

1033. Figuriamoci per esempio, che il punto s essendo primieramente nella situazione rappresentata dalla *fig*. 36. venga trasportato in

s' (*fig.* 37), a una distanza maggiore dalla superficie refrangente. Supponendo sempre che i raggi incidenti $s'k'$, $s't'$ formino angoli piccolissimi con l' asse $s'h'$, ne segue che nei diversi moti che può fare il punto s', allontanandosi più o meno dalla superficie refrangente, il piccolo arco $k't'$ non varia che di una piccolissima quantità, e quindi i raggi incidenti $s'k'$, $s't'$ divergono fra loro meno dei raggi sk, st (*fig.* 36). Dunque i primi facendo con le perpendicolari nei punti k' t' (*fig.* 37) angoli minori che quando il punto raggiante era in s (*fig.* 36), i raggi refratti $k'f'$, $t'f'$ (*fig.* 37) corrispondenti saranno pure più vicini dei primi alle medesime perpendicolari. Convergeranno dunque maggiormente fra loro, sicchè il fuoco f' che essi formeranno nel riunirsi tanto fra loro quanto con gli altri raggi, sarà situato a una distanza minore dalla superficie refrangente, di quello che sia il fuoco f (*fig.* 36).

1034. A misura che il punto s' si allontanerà dalla superficie $mh'n$, il fuoco f' (*fig.* 37) si avvicinerà sempre più alla medesima superficie Questo moto arriverà al suo termine quando il punto raggiante s', essendo a tal distanza dalla superficie refrangente da potersi riguardare come infinito, i raggi incidenti $s'k'$, $s't'$ si riguarderanno come paralleli fra loro. Tal supposizione è relativa ad oggetti lontanissimi che si osservano per mezzo d'uno strumento di ottica.

1035. Consideriamo nuovamente il caso in cui il punto raggiante era in s (*fig.* 36), e supponiamo che questo punto si avvicini anzi alla superficie refrangente. Con un ragionamento analogo a quello che facemmo relativamente al caso precedente, si proverà che il nuovo fuoco deve formarsi allora al di là del fuoco f. A misura che scemerà la distanza fra il punto s e la lente, i raggi refratti convergerauno sempre meno fra loro, vi sarà un punto in cui diverranno paralleli, dimanierachè il fuoco sparirà, e passato questo punto divergeranno, come si osserva nella *fig.* 38, quantunque meno dei raggi incidenti (*a*).

(*a*) Per mezzo del calcolo si trovano facilmente formule generali per rappresentare questi casi diversi. Sia st (*fig.* 39) lo stesso raggio incidente, che osservammo nella *fig.* 36: si tratta di determinar la distanza del punto f dalla superficie refrangente, supponendo primieramente che il raggio refratto tq converga verso l' asse. Se conduciamo cd (*fig.* 39) perpendicolare sopra tq, e ce perpendicolare sul prolungamento del raggio incidente st, l' angolo etc essendo eguale all' angolo d'incidenza stz, e l' angolo ctd essendo l' angolo di refrazione, ce, e cd saranno i seni di questi angoli. Sia $ce = 1$, $cd = m$, $sh = b$, e $hc = a$: i triangoli simili sth, sec danno $ht : ce :: sh : se$ ($= cs$, a motivo della piccolezza dell' angolo cse); oppure $ht : 1 :: b : b + a$. Dall' altra parte i triangoli simili fht, fdc danno $ht : cd :: ft$ ($= fh$) $: cf$; oppure $ht : m :: cf + a : cf$: dunque $\frac{b}{b+a} = m\left(\frac{cf+a}{cf}\right)$, ossia $\frac{b}{m(b+a)} = \frac{cf+a}{cf}$.

In tal caso bisognerà prolungarli sopra la superficie refraugente per avere il loro punto di riunione, che si troverà in f, dalla medesima parte del punto raggiaute s, ma ad una maggior distanza dalla medesima superficie. In tal caso il punto f si chiama *fuoco virtuale* o *fuoco immaginario*, per distinguerlo dal *fuoco reale* che ha un'esistenza fisica, determinata dalla riunione effettiva dei raggi refratti.

Proseguendo il punto s ad avvicinarsi alla superficie refrangente, la divergenza dei raggi refratti crescerà, e quindi è chiaro che finchè dura il moto del punto s, il fuoco immagiuario si situerà ancor esso più vicino alla medesima superficie.

1036. Da quanto abbiamo detto apparisce, che quando il punto raggiante ed il fuoco son situati da due parti opposte della superficie refrangente, la distanza dal fuoco a questa superficie scema a misura che cresce quella del punto raggiante, e reciprocamente: ma se il fuoco e il punto raggiante son situati dalla medesima parte, le due distanze crescono e scemano nel tempo stesso. Questa proposizione può rendersi ancor più generale, dicendo che i moti del punto raggiante e del fuoco accadono sempre nella stessa direzione, qualunque sieno le situazioni di questi punti, relativamente alla superficie refrangente.

1037. Aggiungeremo qui la dimostrazione di un caso particolare, che ha luogo qualche volta nella visione aiutata dagli strumenti di ottica. Se i raggi incidenti yk, st (*fig.* 41) essendo paralleli, incontrino la superficie mn a gradi diversi di obliquità, in modo che uno sia dentro e l'altro fuori dell'intervallo fra le perpendicolari ug, zl, ancora i raggi refratti kx, tq convergeranno l'uno verso l'altro. Per provarlo, figuriamoci che i raggi yk, st cadano primieramente su

Dunque $cf+a : cf :: b : m(b+a)$, e $cf+a : cf+a-cf :: b : b-mb-ma$; dunque $cf+a$ ossia $fh = \frac{ab}{(1-m)b-ma}$.

Questo resultamento ha luogo finchè $(1-m)b$ è maggiore di ma: ma se queste quantità sono eguali, il denominatore $(1-m)b-ma$ divenendo zero, la quantità $cf+a$ diviene infinita; ed è questo il caso in cui i raggi spezzati son paralleli fra loro.

Se $(1-m)b$ è minore di ma, il raggio refratto tq diverge relativamente all'asse (*fig.* 40.). Nel tempo stesso il punto f si trova trasportato dalla parte opposta, cioè sopra l'arco mn, e la formula diventa $fh = \frac{ab}{(m-1)b+am}$, nella quale si trovano cambiati i segni del denominatore. Si può verificare questa formula applicando alla *fig.* 40 il calcolo relativo alla *fig.* 39.

Nel caso in cui i raggi incidenti sono paralleli, sh ossia b divenendo infinita, am sparisce, e si ha $cf+a = \frac{ab}{(m-1)b} = \frac{a}{m-1}$.

due piccole superficie piane de, ab (*fig.* 42.), che sieno a livello; in tal caso è chiaro che i raggi spezzati kx, tq saranno paralleli. Figuriamoci ora che la piccola superficie ab giri intorno al punto d' immersione t, in modo da prendere la situazione $a'b'$, e che nel tempo stesso la perpendicolare zl giri altrettanto, passando alla situazione $z'l'$, mentre i raggi st, tq resteranno fissi: le due piccole superficie de e $a'b'$ potranno in tal caso considerarsi come parte d' una superficie curva. Ora l' angolo d' incidenza stz sarà cresciuto della quantità ztz', e l' angolo di refrazione ltq sarà cresciuto d' una quantità eguale ltl'; ed è chiaro che se i seni variassero come gli angoli, il seno di refrazione sarebbe cresciuto troppo perchè il rapporto restasse lo stesso. Per esempio, se questo rapporto fosse di $3:2$, l' aumento dell' angolo di refrazione non dovrebbe essere che $\frac{2}{3}$ di quello dell' angolo d' incidenza, in vece d' essere eguale. Ma anco il seno di refrazione si trova cresciuto, in proporzione di quello d' incidenza, più di quello che nell' ipotesi precedente, perchè se aumentiamo della stessa quantità due angoli, il seno dell' angolo minore crescerà in un rapporto maggiore di quello dell' altro; dunque perchè resti lo stesso il rapporto fra i seni, bisogna che l' angolo $l'tq$ scemi, e in conseguenza il raggio spezzato tq si avvicinerà alla nuova perpendicolare tl', cioè convergerà verso l' altro raggio spezzato kx.

1038. Se il mezzo M (*fig.* 43) è più raro del mezzo E, è chiaro che i raggi spezzati kx, tq, facendo con le perpendicolari ug, zl angoli più ottusi di quelli d' incidenza, divergeranno più ancora dei raggi incidenti sk, st. In tal caso vi sarà un fuoco immaginario situato in f', cioè più vicino del punto raggiante alla superficie refrangente; e se supponiamo che il punto s si muova da una parte o dall' altra della sua presente situazione, osservando con qualche attenzione vedremo che ancora il fuoco dovrà muoversi in questo caso nella stessa direzione. Per esempio, se il punto raggiante s si allontana dalla superficie refrangente, gli angoli sku, stz essendo scemati, scemati pure saranno gli angoli di refrazione gkx, ltq; dal che segue che i prolungamenti dei raggi xk, qt anderanno a tagliar l' asse sopra il punto f'. Quando il punto raggiante è a una distanza riguardata come infinita, relativamente alla superficie refrangente, i raggi refratti divergono ancor essi, quantunque meno che nel caso precedente.

1039. Se il mezzo refrangente M è concavo, come lo rappresenta la *fig.* 44, e nel tempo stesso più raro del mezzo E, i raggi refratti kx, tq divergeranno più dei raggi incidenti sk, st, e così esisterà sempre la loro divergenza, quantunque meno sensibilmente, nel punto in cui i raggi incidenti diverranno paralleli. In questo caso egualmente che lu

qualunque dei casi precedenti, il fuoco sarà immaginario, e situato dalla stessa parte del punto raggiante, e i moti dell'uno e dell'altro punto si corrisponderanno in quanto alla loro direzione. Se al contrario il primo mezzo è più denso del secondo, i raggi refratti allontanandosi dalle perpendicolari più dei raggi incidenti, divergeranno meno dopo la lor refrazione, o saranno paralleli, o diverranno ancora convergenti. Ognuno comprende che questo ultimo caso deve avere necessariamente luogo, quando supposto il punto raggiante a una distanza infinita sulla superficie refrangente, i raggi incidenti son giunti al parallelismo. Facilmente potrà applicarsi alle varie circostanze sopraccitate il principio relativo ai moti del fuoco, paragonati con quelli del punto raggiante (§. 1036.).

CASO IN CUI IL MEZZO È TERMINATO DA DUE SUPERFICIE CURVE OPPOSTE.

1040. Figuriamoci un'altra superficie curva mln (*fig.* 45), che abbia il medesimo asse della prima mhn, e sia situata in modo che le due concavità sieno di faccia l'una all'altra, nel qual caso il mezzo M prende il nome di *lente*. Se questo mezzo è più denso del mezzo circostante E, e il punto raggiante s sia a tal distanza dalla lente, che i raggi refratti kx, tq convergano uno verso l'altro, chiaramente si vede che i raggi emergenti convergeranno di più, allontanandosi dalle perpendicolari nei punti x, q, e così il punto f, in cui si riuniranno sull'asse della lente, sarà più vicino alla superficie mln, che nel caso in cui i raggi kx, tq avessero proseguito la loro strada senza alcuna deviazione (*a*).

(*a*) Sia mn (*fig.* 46.) una lente d'una materia più densa del mezzo circostante, e st un raggio vicinissimo all'asse, che dopo essersi refratto nella direzione tt' nella lente, convergendo con l'asse, passi di nuovo nel mezzo circostante in una direzione $t'f$. Ecco il modo di determinare la distanza hf da questo punto alla lente, supponendo questa tanto sottile, da potersi liberamente trascurare la sua grossezza.

Prolunghiamo tt' finchè incontri l'asse in f': sieno c, c' i centri delle due curve, che possiamo supporre appartenere a due sfere diverse: sia sempre $sh = b$, e $hc = a$: il punto f' essendo il punto di concorso dei raggi partiti da s, supponendo che la convessità mhn esista sola, avremo come sopra (§.1035),

$$f'h = \frac{ab}{(1-m)b-ma}.$$

Sia ora $c'h' = c$, e $f'h' = z$. Per avere un altro valore di $f'h$ che contenga z, consideriamo il raggio $f't'$ come diretto dal punto f' verso la superficie convessa $mh'n$, per refrangersi nel mezzo M, nella direzione $t't$ che diverge relativamente all'asse. Questo caso sarà simile a quello della *fig.* 40., e così f'. (*fig.*

1041. Se il punto s venga ad allontanarsi dalla lente, crescerà la convergenza dei raggi refratti (§. 1033), e in questa circostanza il punto f anderà continuamente avvicinandosi alla superficie mln. Quando il punto s è a una distanza infinita dalla lente, il fuoco f (*fig.* 47) prende il nome di *fuoco dei raggi paralleli*, relativamente alla particolare situazione dei raggi incidenti (*a*). Si chiama altresì *fuoco principale*, o semplicemente *fuoco*, perchè corrisponde al limite in cui i raggi emergenti son più vicini a riunirsi esattamente in un punto unico.

1042. Poniamo di nuovo il punto raggiante s nella situazione indicata dalla *fig.* 45, e supponiamo che lasci tal situazione per avvicinarsi alla lente: in tal cambiamento di cose, ancora il punto f si allontanerà sempre più dalla lente medesima. Passato un certo termine, i raggi xf, qf diverranno paralleli; e se il punto raggiante proseguirà a muoversi verso la lente, gli stessi raggi cominceranno a divergere, e il loro fuoco diverrà immaginario. Se al contrario la lente fosse di una materia meno densa del mezzo circostante, resulterebbero effetti diversi, che sono stati parimente determinati dai fisici.

1043. Ciò che abbiamo detto (§. 1036) in quanto alla corrispondenza dei moti del punto raggiante e del fuoco, quando non v'è che una sola superficie refrangente, si applica egualmente al caso in cui il mezzo è di forma lenticolare. Questi moti accadono sempre dalla stessa parte, tanto se i due punti sieno uno da una parte e uno dall'altra della lente, quanto se ambedue sieno dalla stessa parte.

1044. Può supporsi ancora che il corpo diafano sia *biconcavo*, cioè che le due superficie sieno voltate una verso l'altra per la parte convessa, oppure che esso sia concavo da una parte e convesso dall'altra, nel qual caso prende il nome di *menisco*, o finalmente che esso sia *piano convess-*

46) sarà il punto in cui il raggio refratto incontra l'asse, situandosi dalla medesima parte del raggio incidente. Ma trovammo (§. 1035) in questo ultimo caso $fh = \frac{ab}{(m-1)\,b+am}$; e qui fh (*fig.* 40) diviene $f'h'$ (*fig.* 46), o il suo eguale $f'h'$; a diventa c, e b diventa z; dunque la formula si cambia in questa, $f'h = \frac{cz}{(m-1)\,z+cm}$. Facendo l'eguaglianza fra i due valori di $f'h$, si ha $\frac{cz}{(m-1)\,z+cm} = \frac{ab}{(1-m)\,b-ma}$ dal che si deduce $z = \frac{mabc}{(1-m)(bc+ab)-mac}$.

Se le due superficie appartengono a sfere eguali, si avrà $c = a$, e la formula sarà $z = \frac{mab}{(1-m)\,2b-ma}$.

(*a*) In questo caso la quantità ma sparisce nel denominatore, e la formula diventa $z = \frac{ma}{2(1-m)}$.

so o *piano concavo*. Da queste diverse configurazioni, combinate con la differenza di densità che può esistere fra i due mezzi, è derivata una moltitudine di resultamenti diversi, fra i quali noi esporremo soltanto quelli di cui avremo bisogno in seguito, secondo che lo richiederà l'argomento, purchè si possano facilmente dedurre da ciò che precede.

1045. Nel terminar questo articolo osserveremo, che è lo stesso o considerar la lente come in una situazione fissa, e far variare quella del punto raggiante, o supporre immobile questo, e mobile con un moto eguale la situazione della lente; poichè è chiaro che nell'uno e nell'altro caso le dimensioni del cono di luce, il vertice del quale coincide col punto raggiante, e con la base riposa sulla lente, soffrono i medesimi cambiamenti.

Analogia fra la Refrazione e la Reflessione.

1046. Fin qui abbiamo considerato la reflessione e la refrazione come due effetti separati, e che accadevano indipendentemente l'uno dall'altro: ma resta provato dall'osservazione, che i raggi i quali cadono sulla superficie di un mezzo refrangente, d'una densità diversa da quella del mezzo in cui si muovevano, non passano tutti a traverso del secondo mezzo, dimanierachè una parte ne è reflessa al contatto dei due mezzi. Supponiamo primieramente che il secondo mezzo sia più raro del primo: a misura che i raggi, partendo dall'incidenza perpendicolare, inclineranno maggiormente sulla superficie del secondo mezzo, il numero dei raggi che sfuggono alla refrazione diverrà più considerevole, e vi sarà un punto in cui saranno tutti reflessi. Il qual effetto resulta immediatamente dalla legge stessa della refrazione, dimanierachè, conosciuto il rapporto fra i seni d'incidenza e di refrazione, può determinarsi a qual'inclinazione esso accaderà. Infatti, poichè nel nostro caso il seno di refrazione è sempre maggiore di quello d'incidenza, è chiaro che vi è un certo grado di inclinazione in cui l'angolo d'incidenza essendo sempre acuto, l'angolo di refrazione è retto, sicchè la direzione dei raggi spezzati coincide con la superficie di contatto dei due mezzi; e se si accresca maggiormente l'angolo d'incidenza, quello di refrazione diverrà ottuso, e i raggi si alzeranno sopra la superficie del contatto. In tal caso ciascun raggio non si dirige come il lato dell'angolo ottuso che resulta dalla legge di refrazione, ma fa un angolo di reflessione eguale all'angolo d'incidenza, del che daremo fra poco la ragione.

1047. Da quanto abbiamo detto si deduce, che per un mezzo dato, il rapporto fra il seno dell'angolo d'incidenza, da cui principia la refles-

sione totale, e il raggio, è eguale a quello dei seni che misurano la refrazione nel mezzo stesso: per esempio, quando la luce passa dall'acqua nell'aria, i seni essendo in generale come 3 : 4, la reflessione totale comincerà ad un angolo d'incidenza di 48° 35', il seno del quale è $\frac{3}{4}$ del raggio.

1048. Se al contrario il secondo mezzo è più denso del primo, anco in questo caso una porzione dei raggi saranno reflessi nel contatto dei due mezzi; ma questa porzione è generalmente minore che nel caso precedente, e per quanto sia obliqua l'incidenza, vi son sempre alcuni raggi reflessi ed altri refratti, in modo però che il numero dei primi va crescendo, e quello dei secondi va scemando, in proporzione dell'aumento di obliquità dei raggi incidenti. Ed è chiaro che in tal caso questa obliquità non può mai esser tale, che il seno di refrazione divenga eguale al raggio, perchè esso è sempre minore di quello d'incidenza.

E appunto perchè una porzione di questi raggi si reflette sfuggendo alla refrazione, la superficie d'un'acqua tranquilla e quella degli altri corpi trasparenti, fanno fino a un certo punto le veci di specchi.

1049. Abbiamo veduto che il termine in cui tutti i raggi che tendono a passare da un mezzo in un altro più raro sono reflessi, dipende dal rapporto fra il seno d'incidenza e quello di refrazione; dimanierachè quando questi seni differiscon più l'uno dall'altro, l'angolo d'incidenza che corrisponde alla reflessione totale è minore; ossia, se si supponga che i raggi, principiando dall'incidenza perpendicolare, si inclinino gradatamente sulla superficie di contatto dei due mezzi, essi giungono più presto alla reflessione totale. E poichè il rapporto fra i seni dipende esso pure dalla differenza fra le densità dei due mezzi, ne resulta che quando questa differenza è maggiore, la reflessione totale accade ad un angolo minore d'obliquità.

Ma inoltre in tutte le incidenze che precedono quella in cui la totalità dei raggi è reflessa, il numero di quelli che soffrono la reflessione parziale di cui abbiamo parlato di sopra (§. 1046) è più considerevole, ad una data inclinazione, quando l'incidenza necessaria per la reflessione totale è minore; sicchè, sotto questo aspetto esiste una specie di correlazione fra le due reflessioni. Da ciò segue che la porzione dei raggi che si reflettono in vece di refrangersi, è maggiore a una data incidenza, quando le densità dei due mezzi differiscono maggiormente fra loro, e minore quando differiscono meno; sicchè se essi fossero eguali, tutti i raggi passerebbero dal primo mezzo nel secondo. Newton paragona l'unione dei due mezzi, in questo caso, ad una massa d'acqua limpida, di-

visa in due porzioni da una superficie immaginaria, che trasmette tutti i raggi senza refletterne alcuno (a).

Lo stesso accade in proporzione quando la luce passa da un mezzo in un altro più denso, quantunque in questo caso non possano esistere reflessioni totali. Il numero dei raggi reflessi sulla superficie di contatto, ad un'incidenza data, cresce parimente, a misura che cresce la differenza stessa fra i due mezzi; se non che apparisce minore questo numero, in circostanze eguali, di quello che nel primo caso, in cui un mezzo più raro succede a un mezzo più denso.

Ragioni che inducono a credere che la Refrazione e la Reflessione non sono prodotte da una causa meccanica.

Esaminiamo nuovamente tutti i fatti che abbiamo esposti, e vediamo fin dove è giunta la teoria nella ricerca delle cause da cui dipendono la reflessione e la refrazione.

1050. I Fisici hanno tentato primieramente di spiegar questi effetti, come molti altri, secondo le leggi ordinarie della meccanica. Ragionavano essi, relativamente alla reflessione, come se le molecole della luce avendo un'elasticità perfetta, le superficie che la reflettono regolarmente fossero esse pure perfettamente levigate. Secondo questa ipotesi nulla si comprendeva più facilmente, quanto l'eguaglianza degli angoli di reflessione e d'incidenza, se nel tempo stesso si riguardino le molecole della luce come se fossero di forma globulosa. La forza di ciascun globetto essendo obliqua sul piano di reflessione, si decomponeva in due altre forze, una delle quali perpendicolare al piano, era in principio distrutta dalla resistenza di questo, e quindi restituita interamente in parte opposta per effetto dell'elasticità; l'altra parallela al piano, sussisteva senza alterazione, e combinandosi con la precedente produceva un nuovo moto in diagonale, inclinato sul piano precisamente quanto il moto primitivo.

1051. Ma queste spiegazioni ed altre dello stesso genere, che riducevano tutto alle leggi ordinarie dell'urto dei corpi, potevano sembrare soddisfacenti quando si considerava la reflessione sotto un punto di vista isolato, e quando si attribuiva all'azione delle forze che la producevano una precisione matematica. Newton avvezzo a contemplare i fatti riuniti, trovò nell'unione di questi fortissime ragioni da opporre alla teoria fin allora adottata; ed esaminando quindi la

(a) *Optice lucis*, lib. II, p. III, propos. I.

reflessione in se stessa, giudicò che il meccanismo da cui i fisici l'avevan fatta dipeudere, non poteva essere quello della natura.

1052. Ecco le principali considerazioni sulle quali egli fonda il suo sentimento (*a*). Quando la luce passa dal vetro nell'aria, i raggi che sfuggono alla refrazione, e si reflettono a contatto dei due mezzi, sono in egual numero, se non forse anco maggiore che quando la luce passa dall'aria nel vetro. Ne verrebbe dunque per conseguenza, che l'aria fosse più del vetro adattata alla reflessione, lo che non è verisimile; ma quando ciò fosse, non resulterebbe verun utile, poichè se il vetro sia in un recipiente ben privo d'aria, la reflessione nel passaggio dal vetro nel voto sarà eguale o anco maggiore che quando v'era l'aria.

1053. Inoltre quando la luce passa dal vetro nell' aria, facendo un angolo minore di 40° o 41°, una porzione dei raggi penetra nell'aria refrangendosi in essa, e quando l'angolo d'incidenza oltrepassa 41°, tutti i raggi sono reflessi. Sarà egli credibile che un piccolo cambiamento d'obliquità basti perchè la luce, che fin allora trovava nell'aria un certo numero di strade aperte, non vi trovi più che parti solide le quali la reflettano, soprattutto se si considera che nel passare dall'aria nel vetro, per quanto sia grande l'obliquità, v'è sempre un certo numero di raggi che penetrano nel vetro stesso? Taluno forse si figurerà, che nel primo caso non sia l'aria ma l'ultima superficie del vetro che produce la reflessione: ma se si metta il vetro a contatto con l'acqua, una gran parte dei raggi si trasmetteranno a traverso dell'acqua stessa, con un'incidenza eguale a quella che produceva una reflessione totale quando v'era l'aria in vece del liquido. Sembra dunque che la reflessione e la trasmissione dei raggi non dipendano dalla maniera con cui si incontrano le parti proprie del vetro, ma da una certa disposizione dell'aria o dell'acqua che si avvicinano al vetro.

1054. Newton dopo avere sviluppato molte altre ragioni, per intender le quali bisogna prima conoscere alcuni effetti di cui parleremo in seguito, osserva che nell'ipotesi che la reflessione accadesse in forza dell'urto dei raggi contro le molecole solide dei corpi, le superficie degli specchi non potrebbero respingere la luce con quella esattezza e con quella regolarità che si osserva nella natura. Non è da supporsi che possa portarsi a tanto pulimento il vetro, per mezzo di sabbia ed altre materie simili, da far divenire perfettamente lisce le sue ultime molecole, da ridurre le loro superficie esattamente piane o sferiche, e da collocarle

(*a*) *Optice lucis*, lib. II, par. III, propos. VIII.

in modo che tutte sieno voltate nella stessa maniera, e compongano una superficie unica e uniforme. Tirare a pulimento un vetro non vuol dir altro che rendere invisibili all'occhio quelle scabrosità che vi si scorgevano, e ridurle più piccole: dunque se la luce fosse reflessa dalle parti proprie del vetro, si disperderebbe da tutte le parti sulle superficie più pulite egualmente che sulle più scabrose. In qual modo adunque accade la reflessione tanto regolarmente sulle prime? Sembra non potersi sciogliere questa difficoltà, se non col supporre che la reflessione dipenda da una certa forza sparsa uniformemente su tutta la superficie del vetro, e che esercita la sua azione ad una piccolissima distanza. In seguito parleremo di alcune osservazioni, dalle quali si rileva che i corpi operano sui raggi della luce.

La teoria della refrazione che ora passeremo a spiegare, renderà ancor più verisimile quanto abbiamo detto fin qui. Alcuni hanno tentato di ridurre ancora questa inflessione della luce alle leggi della Meccanica, immaginando che dipendesse dalla maggiore o minor resistenza dei mezzi nei quali essa penetrava: ma qui la teoria sembrava essere in opposizione con queste medesime leggi, poichè si dimostra che un corpo il quale passa, per esempio, dall'aria nell'acqua, in una direzione obliqua alla superficie dell'acqua stessa, vi si refrange allontanandosi dalla perpendicolare, e ciò perchè il secondo mezzo è piò resistente del primo. La luce al contrario, passando dall'aria, nell'acqua, si avvicina alla perpendicolare, dal che sembra potersi concludere che i mezzi più densi resistono meno dei più rari ai moti della luce. E poichè questa resistenza minore non poteva attribuirsi alla natura stessa del mezzo, fu immaginato da alcuni che la refrazione accadesse per mezzo d'un fluido sottile che occupava i pori del mezzo, e che essendo tanto più puro e più libero da ogni mescolanza con i fluidi più grossolani, quanto erano più piccoli i pori, per questo appunto diveniva meno resistente nei mezzi più densi.

Spiegazione fisica della refrazione.

Newton propose una maniera molto migliore di spiegare la refrazione, per mezzo dell'attrazione nelle piccole distanze; ed ecco in che consiste questa spiegazione.

1056. Sia sy (*fig.* 48) un raggio di luce che penetra nell'aria in direzione obliqua alla superficie del mezzo ABCD, che supporremo più denso dell'aria. Prolungato CB finchè Br sia eguale al raggio della sfera d'attività sensibile del mezzo ABCD, quindi presa sopra BC la porzione Bz eguale a Br, conduciamo rp e zu parallele ad AB. Quando il raggio avrà toccato la linea rp, comincerà ad essere attratto dal mezzo AC più

che dall'aria; e questa attrazione operando nella direzione yn perpendicolare sopra AB, si combinerà con la celerità nella direzione sy, dimanierachè il raggio devierà dalla sua strada, descrivendo la diagonale di un piccolo parallelogrammo formato sulle direzioni delle due forze da cui è mosso; e quanto più si avanzerà verso AB, tanto più sarà attratto verso il mezzo AC, dimanierachè la sua celerità per avvicinarsi a questo mezzo crescerà gradatamente, senza che si cambi la celerità orizzontale, e nel tempo stesso il suo moto proseguirà ad inclinare ad ogni momento; dal che si vede che esso descriverà una linea curva yt che avrà la sua concavità voltata verso AB; e quando il raggio sarà arrivato sotto la linea AB, si troverà attratto nel tempo stesso dall'alto in basso dalle parti del mezzo inferiori ad esso, e dal basso in alto dalle parti superiori: e poichè l'attrazione di queste ultime parti si estende in principio ad una distanza minore del raggio Bz della sfera d'attività del mezzo, mentre quella delle parti inferiori opera in tutta l'estensione del medesimo raggio, ne segue che il moto del raggio di luce yt crescerà in velocità, ma a gradi sempre decrescenti, e così la nuova porzione della curva tf che esso descriverà sarà voltata dalla medesima parte della prima: ma appena il raggio toccherà la linea uz, si troverà interamente prolungato nella sfera d'attività del mezzo, e allora, essendo attratto egualmente da tutte le parti, prenderà un moto rettilineo diretto per la tangente fk all'estremità della curva ytf.

È chiaro che il raggio nel descrivere questa curva si avvicina alla perpendicolare ctm, nel punto d'immersione; e poichè la curva è piccolissima, la strada del raggio sembra non esser composta che di due linee rette, situate come sy e fk, e che si tagliano nel punto d'immersione.

Accadono gli stessi effetti in ordine inverso dopo il punto k, che è distante dalla linea DC quanto il raggio Bz della sfera d'attività sensibile del mezzo, sicchè il raggio di luce descrive in questo caso un'altra curva kie simile alla prima, ma con la concavità voltata in parte opposta: dal che segue che quando il raggio non è più attratto se non dall'aria circostante, si muove in linea retta nella direzione el, allontanandosi dalla perpendicolare gio, nel punto d'emergenza, sicchè l'angolo formato da el con oi è eguale a quello che formano fra loro le linee sy, ct, cioè el è parallela ad sy.

1057. L'attrazione dell'aria si combina con quella del mezzo AC fino a un certo punto, situato a una distanza da AB o da CD minore di Br: e poichè essa opera sempre più debolmente di quella del mezzo AC, alla quale è contraria la sua direzione, il suo effetto si limita a modificare alquanto la figura della curva ytf o kie, la concavità della quale

resterà voltata per lo stesso verso. Al contrario si vede facilmente, che le piccole alterazioni che soffre la forza del mezzo AC, per parte di quella dell'aria, essendo le stesse da una parte e dall'altra a distanze respettivamente eguali da AB e da CD, ciò non ostante le curve *ytf*, *kie* si riuniranno, dimanierachè tutto essendo in tal modo compensato, il moto del raggio può considerarsi come prodotto da una sola forza acceleratrice, variabile dentro certi limiti vicini alle linee AB, CD, e che da una parte e dall'altra prova gli stessi cambiamenti in ordine inverso (*a*).

Nella precedente teoria si suppone che la luce si propaghi per emis-

(*a*) Dicemmo (§. 1028) che relativamente a uno stesso mezzo il seno d'incidenza è in rapporto costante con quello di refrazione: ora lo dimostreremo per mezzo d'un principio che appartiene alla teoria delle forze acceleratrici. Sia sempre AB (*fig.* 49) la superficie del mezzo refrangente, che supponiamo più denso dell'aria, *st* il raggio incidente, *ti* il raggio refratto, *bm* la perpendicolare nel punto d'immersione, e *sb*, *im* due perpendicolari sulla medesima perpendicolare. Se *st* rappresenta nel tempo stesso la celerità del raggio nell'aria, questa celerità potrà decomporsi secondo due direzioni *sb* e *bt*, delle quali la prima rappresenterà la celerità orizzontale del raggio incidente, e l'altra la sua celerità verticale. Supponiamo che siasi preso *ti* in modo che *im* sia eguale a *bs*: la celerità orizzontale essendo sempre la stessa, finchè il raggio si muove nella direzione *ti*, poichè l'azione della forza acceleratrice non può apportare verun cambiamento a questa celerità, essa sarà pure rappresentata da *im* eguale a *bs*; dal che segue che la celerità verticale relativa al moto nella direzione *ti* sarà rappresentata da *tm*. Ora il principio di cui abbiamo parlato consiste in questo, che la quantità di cui il quadrato della celerità verticale si trova accresciuto per effetto della forza attrattiva del mezzo, è una costante, qualunque sia la direzione del raggio incidente; cioè se si indica con u^2 il quadrato della celerità *bt*, e con V^2 quello della velocità *tm*, la differenza V^2-u^2 sarà una costante. Sia d^2 questa differenza, e sia h la velocità orizzontale *bs*. Prendiamo sopra *ti* la porzione *tz* eguale ad *st*, quindi per il punto *z* conduciamo *zy* parallela ad *im*; *bs* o la sua eguale *im* rappresenterà il seno d'incidenza, e *zy* quello di refrazione. Ora $zy : im :: tz : ti$. Ma tz o $ts = \sqrt{((bt)^2+(bs)^2)} = \sqrt{(u^2+h^2)}$; $ti = \sqrt{(tm^2+im^2)} = \sqrt{(u^2+d^2+h^2)}$: dunque il rapporto fra *ts* e *ti*, o fra i seni *zy* e *im* è $\sqrt{\left(\frac{u^2+h^2}{u^2+d^2+h^2}\right)}$. Ma perchè il raggio incidente ha la stessa velocità, qualunque sia la sua inclinazione, il numeratore $\sqrt{(u^2+h^2)}$, o l'espressione *ts* è una quantità costante: dunque il denominatore $\sqrt{(u^2+d^2+h^2)}$ essendo composto del quadrato costante u^2+h^2, e della costante d^2, sarà esso pure una costante, dunque sarà tale egualmente il rapporto fra i seni. Newton ha dato per sintesi una bella dimostrazione del medesimo resultamento. *Philosoph. natur. Princ. mathem.* t. I, *Sec.* XIV, *prop.* 94, *theor.* 48.

sione; e così in quest' ipotesi la refrazione si spiega più facilmente che nell' ipotesi della pressione.

1058. Poichè la luce vien trasmessa per qualunque mezzo in tutte le direzioni possibili, bisogna intendere che accade delle molecole dei corpi diafani come di quelle della luce stessa, cioè che le distanze fra queste molecole sono incomparabilmente più grandi della grossezza di quelle; ed è questa una conseguenza riconosciuta da quei fisici stessi che ammettono la propagazione della luce per via di pressione. Bouguer credè di potere scansare la difficoltà, supponendo che le parti solide dei corpi diafani, che si trovavano sulla direzione dei raggi della luce, trasmettessero l' azione di questi raggi, supplendo alla materia sottile nei piccoli spazii in cui questa si trovava interrotta; ma non è in verun modo probabile che queste parti abbiano la figura, la disposizione e il grado di elasticità necessario per propagare tanto esattamente le vibrazioni della luce, come se i raggi di questo fluido formassero linee continuate.

CASO IN CUI LA REFRAZIONE SI CAMBIA IN REFLESSIONE TOTALE.

1059. Vedemmo di sopra (§. 1046) che i raggi i quali si presentano sotto un certo grado di obliquità, per penetrare in un mezzo più raro di quello a traverso del quale passano, son reflessi tutti in una volta nel punto di contatto dei due mezzi. Ora la spiegazione che abbiamo data della refrazione può servire a far comprendere la ragione di questo effetto; poichè il raggio di luce giunto ad una distanza dal contatto dei due mezzi, minore del raggio della sfera d' attività del mezzo in cui penetra, e trovandosi più attratto dalle molecole situate sopra di se, che da quelle situate sotto, comincerà a piegare il suo moto e a descrivere una curva, la quale volterà la sua convessità verso la superficie di contatto. Se l' inflessione della curva è tale, che questa tagli la superficie di contatto, una sola porzione dei raggi sarà reflessa a contatto, e gli altri saranno trasmessi. Ma se l' obliquità del raggio incidente è tanto grande, che vi sia un arco della curva, la tangente della quale sia parallela alla superficie di contatto, il raggio, dopo aver descritto questo arco, si alzerà descrivendo un altro ramo di curva simile alla prima, e quindi prenderà un moto uniforme nella direzione della tangente all'ultimo arco della curva; ed è chiaro che questa tangente si troverà inclinata sulla superficie di contatto egualmente che il raggio incidente; dal che segue che l' angolo di reflessione sarà eguale all' angolo d' incidenza (*a*).

(*a*) Newtonis *Philosoph. natur. Princip. mathem.*, *Sect.* XIV, *propos* 96, *theor.* 50.

Idee di Newton sulla reflessioae e sulla refrazione, considerate come dipendenti da una stessa causa.

1060. La reflessione di cni abbiamo parlato nel paragrafo precedente, è prodotta immediatamente dalla causa da cui dipende la refrazione, nel che essa sembra distinta dalle reflessioni che accadono in virtù delle incidenze precedenti, e che sembrerebbero al contrario come specie di eccezioni alla legge della refrazione. È però molto probabile, e questa è l'opinione di Newton, che la reflessione e la refrazione derivino in generale da una stessa potenza, che opera diversamente secondo la diversità delle circostanze (*a*); poichè in tutte le incidenze che precedono quella in cui la refrazione si cambia in reflessione totale, i raggi reflessi sono parimente in generale in maggior numero, quando l'obliquità necessaria per la refrazione totale è minore; e questa è tanto minore, quanto i due mezzi son più differenti in densità, ossia quanto è maggiore la forza di refrazione, che dipende dalla grandezza dell'angolo di refrazione. E poichè da una parte la forza della reflessione dipende dal numero dei raggi reflessi, sarà vero in generale, che i mezzi i quali refrangono più fortemente la luce, sono altresì quelli che la reflettono più fortemente.

1061. Newton per indicare questo potere refrattivo, si serve ora del nome di attrazione ora di quello di repulsione: per esempio quando la luce incontra con una certa obliquità l'ultima superficie di una massa di vetro posta nel voto, e si reflette interamente, è chiaro che questo effetto non può attribuirsi se non all'attrazione del vetro, poichè il voto è incapace di esercitare verun'azione; ma coprendo la superficie del vetro con qualche liquido, come acqua o olio, alcuni raggi che nel caso precedente erano reflessi, penetreranno nel liquido, perchè all'attrazione del vetro si oppone in parte l'attrazione contraria dell'acqua o dell'olio (*b*).

Dall'altra parte quando la luce si reflette incontrando un corpo, sembra che le molecole proprie di questo esercitino su quella un'azione repulsiva; e perchè questo corpo quando è diafano opera nel tempo stesso per via d'attrazione sulla porzione di luce che si refrange, possiamo figurarci che questa attrazione si estenda fino a un piano situato a una piccolissima distanza dalla superficie del corpo, parallelamente a questa superficie, e che al di là di questo piano la repulsione sussista ad

(*a*) *Optice lucis*, *lib.* II, *pars* 3, *prop.* 9.
(*b*) *Ibid.*, *lib.* III, *quaest.* 29.

un' altra distanza infinitesima: e poichè in Algebra le quantità negative spariscono in faccia alle quantità positive, così in questi effetti fisici di cui parliamo, la forza repulsiva succederà immediatamente alla forza attrattiva (*a*).

Fra i raggi che si muovono verso la superficie del mezzo refrangente, accaderà spessissimo che alcuni saranno respinti ed altri attratti, per poi esser trasmessi per il mezzo; e questa differenza sembra che dipenda da certe circostanze che sono state pure determinate da Newton, e di cui parleremo nell' articolo dei colori.

1062. Ma Newton però non ha sempre riguardati tutti gli effetti della reflessione e della refrazione come dipendenti dalle azioni a distanza; anzi ha supposto che questi effetti potessero dipendere ancora dall' azione di una materia sottilissima sparsa dovunque, e perfino nell' interno dei corpi diafani; e immaginando che questa materia avesse maggior densità nei corpi più rari, e che la sua densità crescesse a poco a poco, andando da un mezzo più denso verso un mezzo più raro, pensava che con questa ipotesi potrebbe spiegarsi il modo con cui la luce si refrange in certe circostanze, ripiegandosi gradatamente nei suoi moti, e il modo con cui essa si rifletterebbe in altre circostanze, allontanandosi dagli spazii in cui la materia sottile fosse più densa, per andare verso quelli in cui fosse più rara (*b*).

1063. Nè dobbiamo maravigliarci che Newton si prenda questa specie di libertà nel congetturare, poichè egli propone le sue opinioni come semplici dubbii, nelle sue questioni di ottica, in cui sembra che faccia la storia dei pensieri che si son presentati successivamente al suo spirito nelle sue profonde meditazioni sulla natura, quasi per invitare i filosofi che li leggeranno a discuterli e a rischiararli.

Da essi resulta per lo meno che la reflessione e la refrazione della luce son prodotte molto verisimilmente da forze particolari, del genere di quelle che esercitano le molecole fra loro; e che considerando noi soltanto gli effetti quali ci compariscono, possiamo servirci dei termini *attrazione* e *repulsione* per indicar queste forze medesime, come i chimici si servono del termine *affinità* per esprimere la tendenza che hanno ad attrarsi fra loro le molecole che formano i corpi. È questa una nuova classe di fenomeni infinitamente variati, che cade sotto le leggi di queste forze, le quali leggi son già tanto estese, come resulta da quanto abbiamo detto negli articoli precedenti, che tutto ciò che tende a dilatarne i confini, contribuisce anco per questa sola ragione alla perfezione della fisica, rendendo

(*b*) *Optice lucis lib.* III. *quaest.* 31.
(*a*) *Ibid. quaest.* 13.

più semplice il quadro della natura. E se i fisici hanno ricusato per tanto tempo, e taluno forse ricusa anco presentemente di ammettere simili forze, ciò dipende dall'inclinazione che essi hanno a cercare negli effetti naturali azioni analoghe a quelle esercitate continuamente sotto i nostri occhi dai corpi che si urtano, e dai varii mobili di cui ci serviamo in Meccanica. Poichè queste azioni hanno luogo a contatto e ci son familiari, sembra che ci facciano concepire idee più chiare, quantunque poi ancora l'impulso abbia i suoi misteri egualmente che l'attrazione: quindi coloro che ammettono le forze che operano a distanza, sono stati accusati di rimettere in campo le qualità occulte degli antichi filosofi. Passa però un'immensa differenza fra quelle simpatie e antipatie, espresse abbastanza dagli stessi vocaboli, e quei principii che esprimono fatti generali, che spiegati una volta, bastano a ridurre sotto una sola medesima classe tutti gli altri che ne dipendono. In quel sistema tutto restava ignoto per il fisico: in questo, partendo Newton da un fatto generale che egli prende per causa, ne deduce, relativamente a tutto il resto, cognizioni chiare e precise. Le qualità occulte immergevano tutti i fenomeni della natura in un'oscurità profonda e impenetrabile; ma le forze ammesse da Newton li collocano in uno spazio chiaro, eccettuato un punto in cui si trova una nube a traverso della quale l'occhio più illuminato non ha potuto finora penetrare.

Determinazione approssimativa dell' atmosfera, per mezzo della reflessione prodotta dal Crepuscolo.

1064. Se non esistesse atmosfera, noi non potremmo essere illuminati che dai raggi i quali ci venissero in linea retta dal Sole: il giorno e la notte si succederebbero come di salto istantaneo; e questa alternativa improvvisa sembrerebbe ripetersi ogni volta che noi passassimo da un luogo esposto ai raggi solari in un altro in cui questi non potessero penetrare immediatamente, e il quadro della natura sarebbe sfigurato in un ammasso dispiacevole di luce e di tenebre. Ma la stessa Providenza, che in questa gran massa di fluido sparso intorno al globo ci ha preparato l'alimento della vita e il conduttore della parola, lo ha destinato ancora a farci godere più completamente del benefizio della luce. Quando il sole non è ancora arrivato sull'orizzonte, o quando si è già abbassato sotto questo circolo, i suoi raggi, dopo essersi refratti penetrando nell'atmosfera, vanno a reflettersi sopra i diversi strati di quella, dai quali si dirigono verso tutti gli oggetti che ci circondano, e ce li rendono visibili. Ci danno altresì il crepuscolo del mattino o l'aurora, conducendo il giorno con una grada-

zione impercettibile, e producono il crepuscolo della sera, ritardando con una nuova gradazione in modo contrario, il momento in cui il Sole tramonta del tutto. E mentre questo astro percorre la parte del suo circolo diurno che è sopra l'orizzonte, l'atmosfera stessa, con moltiplicate reflessioni distribuisce i raggi luminosi in moltissimi luoghi dove la direzione primitiva non gli avrebbe condotti.

1065. Per mezzo di queste osservazioni possiamo formarci un' idea del mezzo che è stato immaginato per determinare l'altezza dell'atmosfera, e che promettemmo già (§. 430) di indicare. Quando il Sole si avanza verso l'orizzonte d'un luogo, all'avvicinarsi del giorno, fra quei raggi che si spargono nell'atmosfera ve n'è uno che è tangente alla superficie della terra; e per un osservatore che si trova in questo orizzonte, l'aurora nasce nel momento in cui questo raggio è situato talmente, che dopo esser andato a reflettersi sulla concavità dell'atmosfera, si diriga verso lo spettatore. È stato osservato che quando spunta il giorno, il Sole è tuttavia 18° sotto l'orizzonte.

Facilmente dunque può concepirsi che l'atmosfera deve avere una certa altezza, perchè possa cominciare la reflessione che produce il crepuscolo, quando il sole è 18° sotto l'orizzonte; poichè se l'atmosfera fosse per esempio più elevata di quello che la supponiamo, quel raggio tangente sopra citato, dovendo percorrere una maggiore estensione, prima di incontrare l'ultimo strato d'aria, si rifletterebbe in una direzione diversa da quella su cui si trova il nostro spettatore; e quindi lo spuntar del giorno corrisponderebbe per lui a un altro abbassamento sotto l'orizzonte. Calcolando dunque l'altezza dell'atmosfera che corrisponde a un abbassamento di 18°, è stata trovata di 60000metri, o 30784 tese. Ma questo resultamento prova soltanto, che alla distanza di 60000metri la densità delle molecole dell'aria è tale che è capace di tramandarci una luce sensibile, sicchè siamo certi che l'atmosfera si estende almeno fin là, ma però non possiamo indicare in un modo preciso il suo ultimo limite (a).

(a) Per la dimostrazione di questo resultamento vedasi il trattato elementare d'Astronomia fisica, p. 276. In questa eccellente opera può vedersi ancora tutto ciò che riguarda la refrazione astronomica e la refrazione terrestre.

Del potere refrattivo.

1066. La forza che i corpi diafani esercitano sui raggi della luce per farli deviare dalla lor direzione primitiva, e assoggettarli alla legge di refrazione, è una forza acceleratrice che opera perpendicolarmente sulla superficie di questi corpi (§. 1056), e che Newton ha chiamato *potere refrattivo*. Inoltre ha cercato di misurarne l'effetto relativamente a ciascun corpo, e paragonando questo potere in corpi diversi, ha trovato tali resultamenti, che sono una prova di più di quella prerogativa di cui sembra essere stato dotato, cioè di non poter toccar nulla senza lasciarvi l'impronta del suo genio.

Ecco il modo con cui egli determina il potere refrattivo. Suppone che un raggio di luce *cr* (*fig.* 50) incontri la superficie *ab* di un corpo qualunque ad angolo infinitesimo *cra*, ossia suppone che l'angolo d'incidenza *crm* sia sensibilmente retto. Decompone quindi in due direzioni il moto *rg* del raggio spezzato, una delle quali *rn* è situata sulla superficie refrangente, e l'altra *gn* le è perpendicolare. Poichè il raggio incidente *cr* aveva una celerità riputata nulla nella direzione di questa perpendicolare, tutto l'effetto che accade in questa medesima direzione deriva dalla forza acceleratrice o dal potere refrangente del mezzo; e con la teoria delle forze acceleratrici si prova, che se si supponga costante la linea *nr*, il potere refrattivo sarà come il quadrato della perpendicolare *gn* (*a*).

Pensieri di Newton sulla natura del diamante e su quella dell'acqua.

1067. In conseguenza del principio esposto di sopra, Newton col suo ingegno aveva letto in certo modo nei resultamenti della refrazione ciò che in seguito è stato confermato da esperienze dirette, cioè che il diamante era un corpo combustibile. Ecco le osservazioni da cui era partito questo gran geometra, per far prendere in questo proposito alla fisica della luce quella superiorità che sembrava esser riserbata alla Chimica.

(*a*) Nella nota al §. 1057 dicemmo che l'aumento del quadrato della celerità verticale, quando la luce passa da un mezzo in un altro più denso, è una quantità costante per tutte le incidenze del raggio. Ora se si supponga, come nel caso presente, che l'incidenza accada ad angolo infinitesimo, l'aumento del quadrato della celerità non sarà più distinto dal quadrato di questa celerità stessa, cioè sarà rappresentato da $(gn)^2$. Così questo resultamento è connesso con quello che ci servì per dimostrare la legge di refrazione.

Avendo paragonato il potere refrangente di varie sostanze con le loro densità, valutate dalle loro gravità specifiche, trovò che i corpi, considerati sotto questo aspetto, formavano come due classi distinte, una di quelli che egli riguarda come fissi, quali sono le pietre, l'altra di quelli che egli chiama grassi, solforosi o untuosi, quali sono l'olio, il succino, ec. In ciascuna classe il potere refrangente era quasi proporzionale alla densità; ma i corpi della seconda classe, a densità eguale, avevano un potere refrangente molto più considerevole di quelli della prima.

1068. Ora il diamante, atteso il suo potere refrangente, veniva annoverato fra i corpi untuosi e solforosi; e nella tavola che fece Newton della serie dei rapporti fra i poteri refrangenti e le densità, il diamante è accanto all'olio di terebinto e di succino, che sono due sostanze combustibilissime.

Da ciò Newton aveva concluso, che il diamante era probabilissimamente una *sostanza untuosa coagulata*, espressione che anco nel senso in cui egli l'intendeva, conformandosi ai principii chimici ammessi ai tempi suoi, deve riguardarsi come un sinonimo di infiammabile.

1069. Con una semplice occhiata possiamo giudicare per analogia qual sia la gran forza refrangente del diamante. Se si inclini adagio adagio verso la luce una faccetta di un pezzo tagliato di questo minerale, la quantità di raggi reflessi che anderà sempre crescendo, arrivera a un punto in cui diverrà tale, che la faccetta prenderà uno splendore analogo a quello d'una lama d'acciaio pulito (*a*). Ora, secondo Newton (§. 1060.), i mezzi che refrangono più fortemente la luce sono nel tempo stesso quelli che la reflettono più; e così il gran potere refrangente del diamante comparisce per così dire, a traverso dell'effetto che resulta dalla grande energia, con cui opera la reflessione nell'osservazione che abbiamo citata.

1070. Newton si inoltra ancora di più. Osserva che l'acqua ha un potere refrangente medio fra quelli dei corpi delle due classi, e che verisimilmente essa partecipa della natura degli uni e degli altri, giacchè essa contribuisce all'accrescimento delle piante e degli animali, che son composti di parti sulfuree, grasse e infiammabili, e nel tempo stesso di parti terree, secche e alcaline. Ciò era lo stesso che dire, che l'acqua la quale aveva una certa analogia con i corpi infiammabili, e insieme con quelli non infiammabili, doveva contenere essa pure un principio infiammabile; come se Newton avesse preveduto fin d'allora

(*a*) Questo splendore si chiama *splendore adamantino*.

il resultamento dell'analisi, per mezzo della quale molto tempo dopo è stata scoperta la presenza dell'idrogene in questo liquido.

1071. Newton nel palesare queste sue idee, si esprime col linguaggio della Chimica dei suoi tempi, ed è questa una ragione di piu per ammirare quest'uomo, che col suo sommo ingegno, tanto tempo prima e per vie in apparenza sì intrigate, potè scorgere sì da vicino certe verità importanti, le quali sembra che non potessero essere neppure immaginate nello stato delle cognizioni umane in quell'epoca.

1072. L'esperienza della combustione del diamante fu fatta primieramente in Firenze verso la fine del decimo settimo secolo, per mezzo di una lente di Tschirnausen, e quindi a Vienna per mezzo d'un fuoco fortissimo e mantenuto per lungo tempo; e il diamante scemò a poco a poco di volume, e in fine sparì totalmente. Darcet è il primo fra i chimici francesi che abbia ripetuto queste esperienze, per le quali si servì di un semplice fornello di coppella ordinario. Macquer osservò, poichè il diamante nell'abbruciare spargeva una fiamma leggera, che formava intorno ad esso una specie di anreola visibilissima.

Da queste esperienze e da altre fatte col medesimo fine resultava, che il diamante esposto a un fuoco di una certa attività, bruciava senza lasciare alcun residuo; e che questo minerale, il quale passava già per una specie di fenomeno quando era creduto indestruttibile, non aveva al contrario nulla di maraviglioso se non la possibilità d'esser distrutto.

Esperienze che hanno servito a far conoscere la composizione del diamante.

1073. Dopo aver riconosciuto che il diamante era una sostanza combustibile, restava a determinarsene la sua composizione. Lavoisier avendo abbruciato uno di questi corpi per mezzo del gas ossigene in un vaso chiuso, scorse alcune macchie sulla superficie di esso; ed osservò inoltre che il gas il quale si era sprigionato in tempo della combustione, faceva precipitare la calce come l'acido carbonico; ma da questo fatto non dedusse però veruna induzione positiva sulla natura del diamante.

1074. In seguito Smithson Tenant, celebre chimico inglese, fece bruciare un diamante in un astuccio d'oro, per mezzo del nitro, e ottenne una quantità d'acido carbonico, che giudicò eguale a quella che produceva la combustione del carbone (*a*). Alcuni anni dopo Guyton di Morveau avendo sottoposto il diamante all'analisi, ne ritrasse carbonio soltanto, con una piccola quantità d'ossigene, che poteva trascu-

(*a*) *Transact. philosoph.* 1797.

rarsi, come vedremo fra poco; e Allen e Pepys hanno poi ottenuti resultamenti eguali a quello di Morveau (a).

1075. Per quanto dovessero sembrare straordinarii questi resultamenti, difficilmente poteva credersi che un altro principio combinato nel diamante col carbonio, ed eguale quasi alla metà del peso del combustibile, fosse sfuggito all'osservazione di quattro famosi chimici. Eppure due illustri geometri, per mezzo della teoria e dell'osservazione hanno potuto concludere, che il diamante contiene più di un terzo del suo peso d'idrogene, e che questo appunto è la causa del suo gran potere refrangente.

1076. Ma questa conseguenza, non ha potuto sostenersi al paragone di nuove analisi tanto più concludenti, quanto che sono state fatte col fine di verificarla; e perchè questo motivo era per gli autori un invito a cercare l'idrogene nel diamante, e a spiegare tutto il potere dei mezzi chimici per scoprirlo e metterlo in evidenza, supposto che vi fosse.

1077. Guyton che era impegnato personalmente nel fare questa verificazione, prese a far nuove osservazioni sul diamante: e non trascurò nulla per assicurarsi della fedeltà degli strumenti di cui si serviva, e in fine annunziò che il diamante era carbonio puro, unito forse a qualche atomo d'acqua di cristallizzazione (b).

1078. Davy riserbato a sparger luce su tal questione, estese le sue ricerche a diverse sostanze carbonate, che potevano presentare un paragone col diamante. Determinò le piccole differenze che passavano fra esse, la principale delle quali consisteva in una piccola quantità d'idrogene contenuto esclusivamente nella piombaggine e nel carbone ordinario. Da questa bella serie d'operazioni del chimico inglese resulta, che il diamante nel bruciare non dà assolutamente se non gas acido carbonico puro (c), come già in altri termini era stato indicato dalle analisi precedenti.

1079. Così fu decisa definitivamente una questione, la soluzione della quale accresce un nuovo grado di maraviglia a quella prodotta dalla combustione del diamante. Parvero realmente toccarsi gli estremi, quando si vide il corpo più duro e più brillante di tutti i minerali, e uno dei più limpidi, identificarsi per la sua composizione con quel corpo nero, opaco e friabile che ricaviamo dalla combustione dei vegetabili.

(a) *Bibliot. britan., Decembre*, 1807.
(b) *Annal. de Chim. et de Phis. Nov.* 1812.
(c) Ibid. t. I, p. 16 e seg.

1080. Faremo qui un'osservazione che non ci sembra indifferente, cioè che indipendentemente da qualunque principio componente, di una natura particolare, i poteri refrangenti si trovano accresciuti nei corpi combustibili, restando proporzionali alle densità. Si sa che in generale una forte azione di un corpo sulla luce è accompagnata da una forte azione di esso sul calorico, ossia del calorico su questo corpo, poichè qualunque azione è reciproca: dal che segue che un corpo è tanto più capace di refrangere la luce, quanto è più combustibile. La disposizione di certi corpi alla combustione diviene altresì come un fattor comune, che moltiplica i poteri refrangenti di questi corpi, dimanierachè la scala di questi segue sempre la stessa legge delle densità, se non che i gradi di questa scala si trovano più alti che nel caso in cui i corpi non fossero combustibili.

1081. In conferma di quanto abbiamo detto, citeremo un'esperienza importantissima fatta da Davy nel 1814, nella quale il più vivo calore a cui possa essere esposto il diamante, è stato accompagnato da una proporzionata emanazione di luce. In queste sue ricerche di tal genere, egli aveva a sua disposizione la lente di Tschirnansen, divenuta famosa per aver servito in Firenze alla combustione del diamante. Davy osservò che questo corpo, dopo essere stato molto riscaldato per mezzo di quella medesima lente in una cassetta sottile di platino, traforata con più buchi per lasciare una libera circolazione all'aria, continuava a bruciare per mezzo del gas ossigene in cui era immerso, dopo esser stato ritirato dal fuoco della lente. La luce che esso tramandava era nel tempo stesso placida e di un rosso sì vivace, che non poteva essere ecclissato dal più vivo splendore del sole; e il calore ne era sì intenso, che in un'esperienza in cui furono bruciati tre frammenti di diamante del peso di 0gr., 119, un sottil filo di platino con cui erano fissati nella cassetta, restò fuso, e ciò dopo qualche tempo dacchè i diamanti erano stati sottratti all'azione del fuoco (a).

3. DELLA LUCE DECOMPOSTA, O DEI COLORI.

1082. I raggi che i corpi luminosi tramandano immediatamente verso i nostri occhi, ci portano le immagini di quei corpi, accompagnate da quel vivo splendore che spesso indichiamo con l'espressione medesima di *luce*. Quei raggi che son reflessi dai corpi capaci di respingerli, ci rendono visibili questi corpi stessi, presentandoci la loro immagine, ma sotto un'apparenza particolare che esprimiamo con la parola *colore*.

(a) *Annal. de Chimie et de Physique* t. 1, p. 17.

I fisici hanno concluso da questo, che la reflessione non si limitava soltanto a respingere verso di noi i raggi nel medesimo stato in cui sono ricevuti dalla superficie reflettente, ma che bisogna che questa superficie abbia una certa disposizione a modificare l'azione dei raggi, in virtù della quale essi ci facciano scorgere le immagini dei corpi come rivestite e ornate dei loro colori. Ma in che consiste questa specie di modificazione, o si consideri nei raggi stessi, o negli oggetti che la producono? Di qual natura è questo potere, il quale è tanto fecondo, che da esso nascono quelle tinte sì diverse che distinguono le superficie dei diversi corpi, e che ammettono fra loro tante e sì varie e sì delicate gradazioni, spesso riunite e in certo modo fuse insieme nella colorazione d'un medesimo corpo? Tali sono le importanti questioni, la soluzione delle quali resulta dalle scoperte di Newton.

Dei Colori considerati nella Luce.

Finchè la luce è stata riguardata come omogenea, e i suoi raggi come indifferenti per se stessi, relativamente a un colore o ad un altro, la varietà dei colori è stata attribuita a quella dei moti, che le molecole dei corpi imprimevano ai raggi reflessi sulla lor superficie, o refratti nel loro interno. Alcuni fisici rassomigliando i colori ai suoni, li facevano consistere nella maggiore o minor frequenza delle vibrazioni della materia sottile, che serviva loro come di conduttore.

1083. Intanto il Grimaldi aveva osservato, che un raggio solare si dilatava nel passare a traverso di un prisma; ma egli riguardava questa dilatazione come l'effetto di una causa accidentale, che operava nel modo stesso su tutti i raggi: così, dopo aver fatto un'osservazione importante, giunse quasi allo scopo, e cedè il prisma a Newton.

Questo strumento maneggiato da mano sì esperta, e seguito in tutte le sue indicazioni dall'occhio del genio, servì a svelare finalmente la vera teoria dei colori. Newton sviluppò egli medesimo questa teoria nel suo *Trattato di Ottica*, in cui il fisico apparisce con tanta dignità accanto al geometra, già immortale per la teoria dell'attrazione ed in cui si ammira sempre quella giudiziosa scelta di esperienze decisive, quell'arte di ordinarle in modo che si rischiarino vicendevolmente fra loro, e quella giustezza di raziocinio, che nelle sue conseguenze non presenta che la traduzione fedele del linguaggio dei fatti.

NOZIONI SUL PRISMA CHE SERVE A DECOMPORRE LA LUCE.

1084. Prima di esporre i resultamenti delle esperienze relative ai colori, non sarà inutile il dare un' idea della forma e degli effetti del prisma col quale si fanno. Questo prisma è retto e triangolare, e si fa ordinariamente di vetro bianco privo più che sia possibile di bolle, di vene, o altri simili difetti: le sue facce laterali devon essere esattamente piane e lisce: l' angolo formato dalle due facce, una delle quali riceve il raggio della luce che si refrange nel prisma, e l'altra lo lascia passare perchè torni nell' aria, si chiama *angolo refrangente* del prisma.

1085. Vedemmo già (§. 1028) che un raggio di luce il quale penetra in un mezzo terminato da due facce parallele, nel passare nuovamente nell' aria prende esso pure una direzione parallela a quella che aveva il raggio prima d' entrare nel mezzo: ma non accade lo stesso quando il mezzo è un prisma, le facce del quale sono inclinate fra loro; poichè il raggio emergente fa necessariamente un angolo col raggio incidente. Bisogna però eccettuarne il caso in cui il raggio incidente e la perpendicolare nel punto d' incidenza sono in un piano, la sezione del quale con la faccia su cui cade il raggio è parallela alla costola che passa per il vertice dell' angolo refrangente; poichè se si prolunga questo piano fino all' incontro della faccia per cui esce il raggio, la sua sezione con questa faccia sarà parallela alla prima sezione: e perchè il raggio resta su questo piano, ne segue un effetto eguale a quello che accaderebbe se queste due facce fossero parallele fra loro, e quindi il raggio escirà dal prisma parallelamente alla sua prima direzione.

1086. Supponiamo ora che *abc* (*fig.* 51) rappresenti una porzione sottilissima del prisma, situata in un piano perpendicolare all' asse; che *b* sia il punto che appartiene all' angolo refrangeute, e *hg* il raggio incidente. Se si faccia girare il prisma intorno al suo asse, mentre il raggio *hg* resta fisso, e se il moto di questo prisma è tale che faccia abbassare sempre più sotto la sua prima situazione il raggio emergente *nm*, si giungerà ad un punto, passato il quale l' estremità *m* che fin allora era scesa principierà anzi a salire. E questo punto avrà luogo quando il raggio emergente *nm* farà con la perpendicolare *or* un angolo *mur*, eguale all' angolo *hgs*, formato dal raggio incidente *hg* con la perpendicolare *ps*; e quindi gli angoli *anm*, *cgh*, formati dai due raggi con le facce corrispondenti del prisma, saranno parimente eguali. Che se il

punto b fosse voltato in alto, i moti del raggio nm sarebbero opposti a quelli di cui abbiam parlato di sopra (*a*).

(*a*) Sembra un fenomeno singolare, che in uno stesso moto del prisma l' immagine faccia due moti successivi in direzioni contrarie. Per rischiarare questa specie di paradosso, supponiamo che acb (*fig.* 52) rappresenti un prisma situato in modo, che essendo yr il raggio incidente, il raggio refratto st faccia angoli diseguali con i lati bc, ba. Nel caso che prendiamo qui per esempio, bsr è il minore di questi due angoli, e il raggio rs, dopo la sua emergenza, si rialza in una direzione st, che fa con ab un angolo più acuto dell'angolo yre.

Condotta bg perpendicolare alla base ac del triangolo isoscele abc, figuriamoci che il raggio refratto rs giri adagio adagio intorno al suo punto d'intersezione o con bg, in modo che la sua estremità r si alzi, mentre l'altra estremità s si abbassa, e che nel tempo stesso il raggio incidente yr e il raggio emergente st varino nelle loro situazioni proporzionatamente alla refrazione del prisma. Durante questo moto vi sarà un punto in cui il raggio rs giungerà ad una situazione $r's'$ egualmente inclinata da una parte e dall' altra sopra bc e ba; ed è chiaro che in questo punto il raggio incidente $y'r'$ e il raggio emergente $s't'$, faranno essi pure angoli eguali con i lati bc e ba. Se finalmente il raggio $r's'$ prosegua a muoversi, sempre nella stessa direzione, arriverà ad un altro punto in cui prenderà la stessa direzione $r''s''$ in parte contraria a quella che prendeva quando era diretta lungo rs; e però sarà $bs''r''=brs$, e $br''s''=bsr$: in tal caso l'angolo che formano fra loro il raggio incidente $y''r''$ e il raggio emergente $t''s''$, prolungati finchè s' incontrino, è eguale all' angolo che essi formavano quando erano diretti per yr e ts.

Questo angolo, andando da un punto all' altro, varia continuamente, dimanierachè in principio cresce, finchè il raggio refratto abbia presa la situazione $r's'$, che corrisponde alla massima ottusità dello stesso angolo, dopo di che scema in gradazione inversa a quella del suo aumento.

Figuriamoci ora che restando fisso il raggio incidente yr, giri il prisma intorno al punto o, abbassandosi con la sua estremità c in modo da prendere la situazione $a'c'b'$ (*fig.* 53) e successivamente tutte l'altre che resultano dallo stesso moto. Questa rotazione del prisma produrrà fra bc e yr la repetizione degli stessi angoli, che venivan formati nell'ipotesi precedente, in virtù del cambiamento di posto del raggio refratto rs. Dunque l'angolo formato da yr ed st, anderà puro crescendo in principio fino al limite sopra indicato, e comincerà quindi a scemare, per tornare poi al suo primo valore; e così questo angolo anderà alternativamente variando in modo contrario, finchè il lato bc del prisma proseguirà ad inclinarsi sempre più dalla stessa parte. Dunque se si riguarda il punto t come il luogo dell'immagine, da quanto abbiamo detto si concluderà, che questa immagine dovè scendere in principio, mentre cresceva l'angolo formato dal raggio mobile ts col raggio fisso yr, e che quindi dovè risalire finchè l'angolo proseguiva a scemare. Per la dimostrazione del massimo limite, si veda *Newtonis Opusc.*, t. II, p. 157, propos. 25, e il Trattato d'Ottica di Lacaille, ult. ediz., Parigi 1802, accresciuta da alcuni studenti della Scuola Politecnica, p. 46 e seg.

La situazione da cui resultano eguali gli angoli *anm*, *cgh*, deve riguardarsi come il limite di tutte l'altre situazioni. Si sa però che quando una quantità varia andando verso il suo limite, le sue variazioni vanno scemando a misura che essa medesima si avvicina al suo limite, sicchè v'è un piccolo spazio al di qua e al di là, in cui essa può quasi riguardarsi come costante. Queste quantità procedono in certo modo come la lunghezza del giorno, che cresce a gradi quasi insensibili, quando il Sole non è che ad una certa distanza dai Tropici, i quali sono i limiti del suo moto sull'Eclittica.

Da ciò resulta che quando il prisma è in una situazione quasi simile a quella in cui le refrazioni dei raggi *mn*, *gh* sono eguali da una parte e dall'altra, il raggio *mn* resta quasi parallelo ad esso, dimanierachè la sua estremità *m* è per un momento quasi stazionaria. Queste nozioni ci saranno utili in seguito.

ESPERIENZE SULLA LUCE REFLESSA DAI CORPI OPACHI.

1087. Newton, prima di presentare il prisma all'azione della luce che viene immediatamente dal Sole, per analizzare fisicamente questo fluido, cominciò dal fare alcuni tentativi indeterminati, sperimentando preliminarmente i raggi reflessi dai corpi opachi colorati. A tal oggetto formò un rettangolo di carta grossa nerissima; e divisolo nel mezzo con una linea parallela ai lati minori, ne tinse una metà di color rosso, e l'altra di color celeste, e ambedue questi colori molto carichi e intensi. La carta era posta davanti a una finestra (*a*), in modo che i due lati maggiori del rettangolo fossero paralleli all'orizzonte, e la linea che lo divideva fosse perpendicolare al piano della finestra: inoltre l'angolo formato dalla luce, che andava dalla finestra al piano della carta, era eguale a quello che faceva lo stesso piano con i raggi reflessi verso l'occhio. In tal disposizione di cose Newton guardò la carta a traverso di un prisma che aveva esso pure l'asse parallelo all'orizzonte, ed ecco ciò che osservò. Quando l'angolo refrangente del prisma era voltato in alto, nel qual caso la refrazione faceva alzar l'immagine della carta sopra la sua prima situazione, la metà tinta di celeste compariva essa pure più

(*a*) Perchè riesca questa esperienza, bisogna che la carta sia ad una mediocre distanza dalla finestra, per esempio 25 centimetri, e che sia in faccia al muro d'appoggio che è sotto la finestra, per temperare l'effetto della luce, che farebbe comparire sulla carta tutte le diverse specie di colori di cui parleremo fra poco, lo che offuscherebbe i colori con cui è tinta questa carta.

elevata di quella tinta di rosso; e quando l'angolo refrangente era voltato in basso, la situazione della metà tinta di celeste compariva più bassa. Da questa prima osservazione Newton concluse che i raggi i quali venivano dalla metà tinta di celeste, erano più refrangibili di quelli che partivano dalla metà colorata di rosso; poichè era evidente, che i lati maggiori del rettangolo essendo paralleli ai canti del prisma, i raggi dei due colori che venivano dalle suddivisioni di questi medesimi lati, e da quelle di tutte le linee intermedie, si trovavano precisamente nelle stesse circostanze, relativamente al prisma, dimanierachè se fossero stati sottoposti ad eguali refrazioni, tutti i punti dell'immagine che corrispondevano a ciascuno dei lati maggiori della carta, e a ciascuna linea intermedia, avrebbero dovuto comparire alla medesima altezza (*a*).

1088. Newton circondò quindi a più riprese la medesima carta d'un filo di seta nerissimo, dimanierachè le diverse parti di questo filo sembravano altrettante linee nere segnate sulla carta. Pose la carta vicino a un muro in una situazione verticale, in modo che uno dei colori era a destra, e l'altro a sinistra; e avendo scelto la notte per fare queste esperienze, mise davanti alla carta, a piccolissima distanza, un lume acceso, la fiamma del quale corrispondeva precisamente all'unione dei due colori, e sorpassava pochissimo l'orlo inferiore della carta: finalmente rizzò sulla tavola, in faccia alla carta, e a una distanza di circa sei piedi, una lente che riuniva i raggi partiti dai diversi punti della carta, dimanierachè i loro punti di concorso, dietro alla lente, erano alla stessa distanza di circa sei piedi: per la qual cosa l'immagine della carta colorata appariva disegnata sopra un'altra carta posta in questi punti di concorso, come le immagini degli oggetti esterni si dipingono nel fondo della camera ottica.

Newton facendo muovere questa carta ora verso la lente, ora dalla parte opposta, cercava la distanza in cui l'immagine di ciascuna parte colorata della carta fissa fosse più chiara; e giudicava che era arrivata a questa distanza, quando le immagini dei fili tesi sulla carta erano essi pure distintissimi: ora nel punto in cui il rosso era divenuto ben distinto, il celeste non si vedeva che confusamente, sicchè appena si scorgevano le linee che passavano a traverso di esso; e reciprocamente il termine in cui il celeste spiccava con tutta la sua vivacità, non presentava che un'immagine debolmente espressa del rosso, e delle linee nere alle quali esso serviva di fondo. Questo punto aveva luogo a una distanza dalla lente, minore circa un pollice e mezzo di quella che corri-

(*a*) *Optice lucis lib.* I, par. I, prop. I, theor. I.

spondeva alla visione distinta del rosso; e poichè l'incidenza dei raggi sulla lente era la stessa nei due casi, ne seguiva che i raggi celesti si refrangevano più dei rossi.

1089. Per l'esito dell'esperienza non è necessario che l'apparecchio sia disposto precisamente come è stato indicato: per esempio l'esperienza riuscirà egualmente inclinando il prisma e la carta sull' orizzonte. Ma le situazioni adottate da Newton son quelle in cui il fenomeno è più distinto; e in generale egli ha ridotte tutte le sue esperienze a quelle specie di termini fissi, che per un modo di operare più accurato e più preciso conducono a più decisi resultamenti. E non pretende egli neppure che tutta la luce che viene dalla parte della carta colorata di celeste, sia più refrangibile di quella che viene dalla parte colorata di rosso. Vedremo in seguito che ognuno di questi due colori è mescolato di raggi che sono essi pure diversamente refrangibili; ma nonostante questa mescolanza, che non è leggera, l'effetto principale domina sempre nel fenomeno.

DECOMPOSIZIONE DELLA LUCE SOLARE.

1090 Da queste esperienze che servirono a Newton come d'introduzione, passò a quelle che hanno per oggetto la luce tramandata immediatamente dal Sole. Per prima esperienza introdusse egli un raggio solare per un'apertura di circa 4 linee, o 9 millimetri di diametro, fatta nell'imposta di una finestra in una stanza oscura: vicino a quest'apertura pose un prisma di vetro, dimanierachè il raggio solare, dopo la sua refrazione a traverso del prisma, portava in profilo sul muro opposto alla finestra l'immagine colorata, conosciuta sotto il nome di *spettro solare*. L'asse del prisma era perpendicolare alla direzione del raggio, e Newton facendo girare adagio adagio il prisma intorno a questo asse, vedeva lo spettro scendere e salire alternativamente sul muro. Nel passaggio da un moto all'altro v'era un momento in cui lo spettro pareva stazionario: e da quanto abbiamo detto di sopra si rileverà facilmente, che il prisma in questo caso era posto in tal modo, che le refrazioni dei raggi incidenti e quelle dei raggi emergenti erano eguali da una parte e dall' altra. Newton fissò il prisma in quella medesima situazione che in generale aveva adottata per tutte le esperienze (*a*).

1091. L'immagine del Sole dipinta sul muro opposto alla finestra, aveva una figura bislunga, della quale gli orli laterali erano due linee rette abbastanza distinte, e le due estremità superiore e inferiore erano

(*a*) *Optice lucis*, lib. I, propos. 2. theor. 2.

due semicircoli mal terminati, i colori dai quali andavano degradando, e infine estinguendosi insensibilmente. La larghezza dell' immagine era proporzionata alla grandezza apparente del diametro dal Sole, poichè era 2 pollici e $\frac{1}{8}$ compresa la penombra, mentre era lontana dal prisma $18\frac{1}{2}$ piedi. Togliendo dunque da questa larghezza il diametro dell' apertura fatta nell' imposta, che era di $\frac{1}{4}$ di pollice, e misurando l' angolo che, col vertice voltato verso il prisma, era sotteso dalla larghezza così ridotta, questo angolo si trovava di circa $\frac{1}{2}$ grado, che è la misura del diametro apparente del Sole.

1092. Per ben intendere ciò, supponiamo che la *fig.* 54 rappresenti in profilo orizzontale tutto ciò che riguarda il fenomeno; che *st* sia il diametro del Sole; *on* quello dell' apertura fatta nell' imposta; *snz*, *tor* due raggi che partendo dalle estremità del diametro del Sole, dopo essersi incrociati in *y*, vadano a passare per l' estremità dell' apertura; *soe*, *tnh* due altri raggi che vadano direttamente verso le stesse estremità; e finalmente sia *rz* la linea alla quale vanno a terminare questi diversi raggi sul muro: la penombra sarà misurata dalle linee *er*, *hz*.

Sia ora *abcd* il profilo del prisma: esso sarà un rettangolo, a motivo della situazione orizzontale di questo prisma. Dall' altra parte è chiaro che i raggi spezzati e i raggi emergenti resteranno in questo medesimo piano, e che inoltre esciranno dal prisma parallelamente alle loro prime direzioni: e poichè i raggi incidenti incontrano il prisma quasi perpendicolarmente, a motivo della piccolezza dell' angolo che fanno fra loro, potremo supporre, senza errore sensibile, che i raggi emergenti restino sulle direzioni prolungate dei raggi incidenti.

Newton avendo tolta dalla larghezza *rz* dell' immagine la parte *gr* eguale ad *on*, trovò che l' angolo *gnz*, che è quasi eguale all' angolo *ryz* (*a*), o all' angolo *syt*, era circa un mezzo grado. Accadeva tutto l' opposto in quanto all' immagine considerata relativamente alla sua lunghezza, poichè era lunga circa 10 pollici e $\frac{1}{4}$, e l' angolo refrangente del prisma che aveva servito all' esperienza era 64°. Con un prisma che aveva un minor angolo refrangente, la lunghezza dell' immagine si trovava scemata, ma la larghezza restava la stessa.

Facendo girare il prisma sul suo asse, in modo che i raggi emergenti divenissero più obliqui alla faccia del prisma per la quale escivano, si vedeva crescere in lunghezza l' immagine circa 2 pollici e più.

E se si faceva fare al prisma un moto contrario, che accrescesse l' obliquità dei raggi incidenti sulla superficie del prisma per la quale

(*a*) È questa una conseguenza dell' essere *gn* parallela ad *ro*.

entravano, si vedeva l'immagine ristringersi un pollice o due, e sempre in altezza.

1093. Ma secondo le leggi di Ottica fino allora conosciute, la lunghezza dell'immagine, divenuta stazionaria, avrebbe dovuto essere eguale alla sua larghezza, cioè l'immagine avrebbe dovuto presentarsi in figura circolare; poichè sia *acb* (*fig.* 55) una sezione verticale del prisma *rf*, *xm* due raggi incidenti partiti dalle estremità del diametro del sole, considerato ancor esso verticalmente, e che si incrociano prima di passare per l'apertura fatta nell'imposta; e sieno inoltre *mh*, *fi* i raggi spezzati, *hp*, *iu* i raggi emergenti, e *pu* la lunghezza dell'immagine dipinta sul muro.

1094. Dicemmo già (§. 1086) che quando l'immagine è divenuta stazionaria, le refrazioni sono eguali da una parte e dall'altra. Questo limite si riferisce a un punto *t* (*fig.* 56) situato quasi nel mezzo dell'immagine, e che corrisponde al raggio *yrst*, la refrazione del quale è media fra quelle di tutti gli altri raggi situati sopra e sotto; sicchè in tal caso il raggio emergente *st* è inclinato sopra *ac*, quanto il raggio incidente *yr* sopra *bc*; e l'immagine si riguarda come stazionaria, quando il punto *t* cessa di salire o di scendere nei due moti contrarii che si fanno fare al prisma.

Supponendo ora che tutti i raggi fossero egualmente refrangibili, la refrazione in *m* sarebbe eguale a quella in *i*; e la refrazione in *f* sarebbe eguale a quella in *h*; quindi i raggi emergenti *hp*, *iu* faranno fra loro un'inclinazione eguale a quella dei raggi incidenti *ym*, *yf*, cioè di $\frac{1}{2}$ grado in circa: e poichè può trascurarsi la piccola quantità di cui si slontanano i raggi nell'interno del prisma, giacchè i raggi incidenti son quasi paralleli, ne segue che nella stessa ipotesi, la lunghezza dell'immagine dovrebbe essere eguale alla sua larghezza, cioè l'immagine dovrebbe apparire circolare. Dunque poichè è cinque volte più lunga che larga, bisogna che i raggi *ym*, *yf* e i loro intermedii sieno diversamente refrangibili, e che quelli che formano la parte superiore *p* dell'immagine (*fig.* 55), sieno più refrangibili di quelli che formano la parte inferiore (*a*).

(*a*) Sia *rs* (*fig.* 57) un raggio refratto, situato come nella *fig.* 56, in modo che gli angoli *cry* e *ast* sieno eguali; *hm* *if* (*fig.* 57) due altri raggi refratti che si incrocino fra loro e col raggio *rs*, facendo gli angoli *bhm*, *bfi* con i lati del prisma, dal che segue che saranno eguali ancora gli angoli *bmh*, *bif*. Saranno pure necessariamente eguali gli angoli *cfy''*, *ahp* formati dal raggio incidente che appartiene a *if* e dal raggio emergente che appartiene ad *hm*, come eguali pure saranno *cmy'* ed *aiu*; ed è chiaro che *fy''* e *my'* da una parte, *hp* ed *iu* dall'altra, saranno egualmente inclinati fra loro. Supponiamo che questa in-

1095. Tale era dunque la distribuzione dei colori dell'immagine, che la sua estremità più refrangibile *p* presentava il violetto, e all'estremità opposta *u* compariva il rosso, la refrazione del quale era minore; e le parti intermedie, partendo dal rosso, presentavano successivamente l'arancio, il giallo, il verde, il celeste e l'indaco.

Allontanando il prisma fino a una certa distanza dall'apertura fatta nell'imposta, e guardando quest'apertura a traverso del prisma disposto come nell'esperienza precedente, si vedeva egualmente un'immagine bislunga e colorata, nella quale il colore più refrangibile era il violetto, e il meno refrangibile era il rosso; e i colori intermedii, partendo dal violetto, erano egualmente l'indaco, il celeste, il verde, il giallo e l'arancio.

1096. Da queste esperienze resultava, che in parità di circostanze, i raggi della luce differiscono notabilmente fra loro per i loro gradi di refrangibilità Ma da che derivava una tal differenza? Era essa l'effetto di una legge costante e uniforme che modificava diversamente la refrazione dei diversi raggi? Doveva essa riguardarsi come accidentale? Finalmente doveva adottarsi l'opinione del Grimaldi, il quale pensava che ogni raggio si dilatasse e si spandesse in forma di ventaglio? Tali questioni restavano tuttora indecise, e bisognava scioglierle con nuove esperienze.

Ma Newton giudicò, che se l'allontanamento dell'immagine derivava dalla dilatazione d'ogni raggio, o da qualche altra simile deviazione, l'immagine refratta nuovamente per la parte laterale, si estenderebbe sopra una larghezza eguale alla sua lunghezza. Per provare l'effetto di questa seconda refrazione, avendo lasciato l'apparecchio disposto come nell'esperienza precedente, pose un altro prisma dietro al primo, ma in modo che i due assi si incrociassero ad angolo retto, e che la luce refratta dal basso in alto dal primo, fosse poi refratta dal secondo lateral-

clinazione sia un mezzo grado, e figuriamoci che restando fermo il raggio *yr*, si muovano parallelamente fra loro i raggi *y'f* e *y'm*, uno d'alto in basso, l'altro di basso in alto, finchè sieno giunti alla situazione indicata nella *fig*, 56, in cui le loro estremità superiori coincidano in uno stesso punto col raggio fisso *yr*. Si comprende facilmente che ciascuno degli angoli formati da *my* con *fy*, e da *ph* con *ui*, sarà pure di un mezzo grado; e che nel tempo stesso gli angoli *cfy*, *ahp* da una parte, e gli angoli *cmy*, *aiu* dall'altra, saranno pure eguali ciascuno a ciascuno. Tali dunque sarebbero le strade per cui anderebbero nel prisma i tre raggi principali, cioè il raggio medio *yrst*, e i due estremi *ymhp*, e *yfiu*, se la luce fosse composta di raggi egualmente refrangibili: dal che si vede che in questa ipotesi la lunghezza dell'immagine, egualmente che la sua larghezza, sottenderebbe un angolo di un mezzo grado, dimanierachè le due dimensioni sarebbero quasi eguali.

mente; ed osservò che l'immagine si conservava della stessa larghezza, se non che appariva in una situazione un poco obliqua, relativamente alla prima.

Conseguenze dedotte dalle esperienze precedenti.

1097. Questi resultamenti delle esperienze avevano ridotto Newton in tale stato, che non gli restava se non che dedurre quelle conseguenze, che col suo sommo ingegno prevedeva facilissime a spiegarsi. Infatti, considerando noi l'ordine delle sue idee su questo proposito, vediamo che egli osservò che il fascio di luce il quale passa dall'apertura fatta nell'imposta della finestra, è composto di raggi che di natura loro hanno varii gradi di refrangibilità. Questo fascio ricevuto immediatamente sul muro, senza alcun prisma intermedio, vi forma un circolo luminoso, in cui sono riunite e mescolate le une con le altre le estremità di tutti questi raggi diversamente refrangibili. Se pongasi incontro alla luce un prisma col suo asse parallelo all'orizzonte, poichè la refrazione orizzontale fa escire i raggi parallelamente alle lor prime direzioni, qualunque sia il loro grado di refrangibilità, non ne resulterà veruna separazione sensibile dei raggi in questa medesima direzione. Ma i raggi situati in uno stesso piano verticale, incontrando in diverse inclinazioni le due facce del prisma che formano l'angolo refrangente, si separeranno gli uni dagli altri per effetto della refrazione. I più refrangibili di tutti, se esistessero soli, anderebbero a formare sul muro opposto, a una certa altezza, un'immagine circolare o quasi circolare, e i meno refrangibili, se del pari esistessero soli, apparirebbero sotto l'aspetto di un circolo situato sensibilmente più basso del primo. Figuriamoci fra questi due circoli un'infinità d'altri circoli formati in profilo da certi raggi, che con le loro refrangibilità formino una serie di gradi intermedii fra quelli che appartengono ai due circoli estremi, e supponiamo inoltre che tutti questi diversi circoli cadano nel tempo stesso sul muro: in tal caso i loro centri si troveranno sopra una medesima linea verticale, poco distanti gli uni dagli altri, e i circoli stessi si copriranno scambievolmente in gran parte, dimanierachè la loro riunione formerà un'immagine bislunga, di cui le sole estremità appariranno circolari.

1098. Se ora si ricevano i raggi esciti dal prisma, sopra una faccia d'un altro prisma che abbia l'asse verticale, e che sia situato in modo che la refrazione dei raggi incidenti sia eguale a quella dei raggi emergenti, i raggi che appartengono a ciascun circolo, poichè sono tutti egualmente refrangibili, esciranno dal secondo prisma con lo stesso ordine con cui v'erano entrati; se non che anderanno alquanto per parte

in forza della refrazione, in modo che il circolo disegnato da essi sul muro, avrà la sua nuova situazione un poco a destra o a sinistra della situazione precedente, e ciò tanto maggiormente, quanto lo stesso circolo sarà prodotto da raggi più refrangibili. Supponiamo che in conseguenza della refrazione del secondo prisma, la deviazione di ciascun circolo accada da destra a sinistra, e figuriamoci una linea verticale segnata sul muro, e che passi per i centri dei diversi circoli di cui era composta l'immagine derivata dal solo prisma orizzontale: in tal caso il centro del circolo prodotto dai raggi più refrangibili sarà il più lontano da questa verticale, in virtù della refrazione nel secondo prisma; e il circolo che si allontanerà meno sarà quello che appartiene ai raggi meno refrangibili, e tutti i centri dei circoli intermedii si allontaneranno più o meno dalla verticale, andando verso la sinistra, secondo che i raggi che producono questi circoli saranno più o meno refrangibili, e quindi i diversi centri si troveranno sopra una linea obliqua. Si comprenderà egualmente che la lunghezza dell'immagine deve essere alquanto cresciuta, poichè si trova contenuta fra le stesse linee orizzontali di prima, e dall'altra parte l'immagine è inclinata, relativamente a queste linee.

Newton avendo posto uno o due altri prismi dietro al secondo, per moltiplicare le refrazioni laterali, ha sempre ottenuti gli stessi resultamenti, senza veder mai sensibilmente cresciuta in larghezza l'immagine.

In conferma delle precedenti esperienze potremmo citarne molte altre, le quali tutte danno alle verità che ne resultano una forza tanto maggiore, quanto che ognuna di esse basta anco sola a provarle.

DECOMPOSIZIONE DELLA LUCE REFLESSA DALL' ULTIMA SUPERFICIE DEI CORPI TRASPARENTI.

1099. Ci resta a parlare delle esperienze relative alla luce reflessa a contatto con l'ultima superficie dei corpi diafani e dell'aria, lo che non serve ad altro che a provar maggiormente le verità già dimostrate. Newton avendo scelto un prisma triangolare, di cui l'angolo refrangente era di 90°, e ciascuno degli altri due era di 45°, ricevette un raggio solare sopra una delle facce che formavano l'angolo refrangente; e la situazione del prisma era tale, che i raggi emergenti escivano dalla sua base voltata verso l'orizzonte. Ora, secondo ciò che abbiamo detto di sopra (§. 1046.), una porzione dei raggi che incontravano questa base, si refletteva sopra la sua superficie interna, e usciva dall'altra faccia dell'angolo refrangente, mentre la porzione che non era stata reflessa, si refrangeva passando nuovamente nell'aria. I raggi reflessi cadevano sopra un altro prisma, e dopo essersi refratti nel passare a

traverso di esso, formavano un'immagine colorata sopra un cartone posto a una giusta distanza (*a*).

A misura che Newton faceva girare il primo prisma sul suo asse, i varii colori dell'immagine divenivano successivamente più intensi, cominciando dal violetto, e terminando col rosso.

1100. In conseguenza di questa gradazione, i raggi che accrescevano forza a ciascun colore, producevano un tal effetto sol perchè scansavano la refrazione che accadeva all'uscire dal primo prisma, e perchè si mescolavano con i raggi reflessi che si riunivano nel secondo prisma; e il colore diveniva della massima intensità, quando la refrazione dei raggi che appartenevano a questo colore stesso si cambiavano in reflessione totale (§. 1046) (*b*). Da ciò si vede che la luce reflessa sulla base interna del prisma si associava successivamente i raggi addizionali relativi ai diversi colori, andando dal violetto al rosso, cioè cominciando dai raggi più refrangibili, e terminando con i meno refrangibili. Così in questa esperienza la luce reflessa si componeva gradatamente di raggi diversamente refrangibili. Ma questa luce non differiva in alcun modo da quella dei raggi incidenti che venivano direttamente dal sole, poichè la reflessione non è che una semplice deviazione della luce, che non altera nulla la sua natura. Dunque la citata esperienza serviva a confermare in qualche maniera, per mezzo di sintesi, ciò che era stato stabilito nelle precedenti esperienze per mezzo d'un'operazione contraria, che potrebbe paragonarsi all'analisi.

Nella stessa esperienza si osservava, che i raggi più refrangibili erano altresì i più disposti a reflettersi, e che i meno refrangibili eran quelli che avevano una tendenza minore alla reflessione.

GRADAZIONE DI VARIETA' CHE ESISTE NELLA LUCE.

1101. Quando in Fisica si parla di raggi *rossi*, *celesti*, *violetti*, *ec.*, non si suppone già che i raggi sieno realmente colorati, ma questo linguaggio esprime soltanto una certa disposizione di questi raggi per produrre in noi le diverse sensazioni, che indichiamo con i medesimi termini *rosso*, *celeste*, *violetto*, ec. Con le indicate esperienze resta provato, che in un fascio di luce il quale ci viene direttamente dal sole, esiste una certa quantità di raggi omogenei capaci di produrre in noi

(*a*) *Optice lucis*, lib. I, *pars.* I, *exper.* 9.

(*b*) È chiaro che l'inclinazione del prisma, perchè accadesse la reflessione totale dei raggi di ciascun colore, variava secondo la varietà dei colori, sicchè ad ogni grado d'inclinazione corrispondeva un grado massimo d'intensità, relativo a un colore particolare.

l'impressione del *violetto*, e che per brevità d'espressione chiamiamo *raggi violetti*; un'altra quantità di raggi parimente omogenei, che saranno i *raggi celesti*, e così di seguito; e apprendiamo inoltre da queste esperienze, che i raggi *violetti*, *celesti*, *verdi*, ec., hanno diversi gradi di refrangibilità, cominciando dai violetti che sono i più refrangibili, fino ai rossi che sono meno refrangibili degli altri.

Ma qui, come in moltissimi altri fenomeni naturali, ha luogo la legge di continuità, cioè la refrazione va insensibilmente scemando dal violetto fino al rosso; e così il cono della luce che passa a traverso del prisma, si scioglie in questo in moltissimi coni, gli assi dei quali fanno fra loro angoli acutissimi; e da ciò deriva che le basi si occultano in gran parte nell'immagine colorata che viene a formarsi dalla riunione di quelli. Il colore dei raggi varia del pari per gradazioni da un cono all'altro, in modo che queste gradazioni possono ridursi a sette specie principali di colori, che sono il violetto, l'indaco, il celeste, il verde, il giallo, l'arancio e il rosso. Newton si esprime su questo proposito col più chiaro linguaggio (*a*), quantunque, dovendone giudicare dal modo con cui la maggior parte dei fisici hanno esposta la sua teoria, sembri che egli non abbia ammesso nella luce se non sette colori distintissimi, che si succedono con un passaggio istantaneo.

COLORI DELLO SPETTRO SOLARE RIDOTTI ALLA LORO MAGGIOR SEMPLICITA'.

1102. La mescolanza di tutte queste gradazioni che si sopravanzano reciprocamente nell'immagine colorata prodotta dalla refrazione, rende questa immagine necessariamente compostissima. Se con qualunque mezzo possa scemarsi notabilmente il diametro dei circoli, la mescolanza, per necessaria conseguenza, diverrà molto meno sensibile; poichè chiaramente si vede che se molti circoli si intersecano scambievolmente, e senza cambiare le situazioni dei centri si ristringono le circonferenze, le parti comuni scemeranno proporzionatamente, perchè i circoli si avvicineranno sempre più al punto in cui le loro circonferenze si toccherebbero soltanto.

Per ottener questo intento, almeno in gran parte, si fa una piccola apertura nell'imposta d'una finestra, e quindi si pone una lente alla distanza di quattro metri ossia dodici piedi dalla finestra, e al di là di questa lente si pone un cartone bianco a una tal distanza, che la luce refratta dalla lente stessa possa dipingere distintamente su questo cartone l'immagine dell'apertura fatta nell'imposta della finestra; e l'effetto

(*a*) *Optice lucis*, lib. I, *pars* I, *propos.* II, *exper.* 6. *Ibid.*, 2, *propos.* 2, *theor.* 2.

che produce questa lente, è il ristringere notabilmente questa immagine. Finalmente a piccola distanza dietro alla lente si pone un prisma, che o per parte o dal basso in alto formi in profilo l'immagine colorata del sole; e in tal caso, poichè i varii circoli che compongono questa immagine sono essi pure scemati notabilmente in grandezza, si separano uno dall'altro, e ciò tanto maggiormente, quanto minore è la larghezza dell'immagine relativamente alla sua lunghezza. Newton è giunto a rendere l'immagine settantadue volte più lunga che larga, dimanierachè ciascuno dei colori di questa immagine poteva riguardarsi quasi come semplice e omogeneo (*a*).

E in questo stato infatti i colori non possono più esser cambiati sensibilmente da veruna refrazione. Per esempio, se si riceva l'immagine colorata sopra un cartone nero, forato con una piccola apertura circolare di circa quattro millimetri o due linee di diametro, e dopo aver fatta passare a traverso di un altro prisma la porzione dell'immagine trasmessa da questa apertura, si faccia cadere perpendicolarmente sopra un altro cartone bianco, non si osserva alcuna differenza fra la sua lunghezza e la sua larghezza, e sembra esser di una figura esattamente circolare; il che prova che tutti i raggi che la compongono si sono refratti regolarmente, e di quantità eguali.

1103. I colori di cui è composta la luce, possono esser cambiati non meno dalla refrazione che dalla reflessione, poichè se si espongono per esempio alla luce rossa dello spettro alcuni corpi di diversi colori, bianco, rosso, giallo, verde, celeste o violetto, come carta, minio, orpimento, smeraldo, fiore di violetta, ec. sembreranno tutti egualmente rossi: e in una luce celeste sembreranno celesti, e verdi in una luce verde (*b*). Nè v'è altra differenza, se non che ciascun corpo brilla con maggior vivacità, quando il colore in cui è immerso coincide con quello che esso reflette per se stesso, mentre la reflessione che accade per mezzo dello spettro, perde più o meno di forza, quando i due colori son distinti uno dall'altro: così il cinabro è vivacissimo nella luce rossa, meno vivace nella luce verde, e meno ancora nella celeste.

Un corpo poi cambia il suo color naturale in un altro che gli si faccia reflettere, perchè ogni corpo è adattato alla reflessione di tutti i colori, ma in modo che ve n'è uno il quale essendo reflesso più abbondantemente degli altri, divien predominante.

In conseguenza di tutte queste osservazioni noi dobbiamo considerare come omogeneo ciascun colore presentato dallo spettro solare;

(*a*) *Optice lucis*, lib. I, *pars* 1, *propos.* 4, *probl.* 1, *exper.* 2.
(*b*) *Ibid. lib.* I, *pars* 2, *exper.* 5. *Newtonis Opusc.*, t. II, p. 227 e 291.

e poichè la refrazione e la reflessione sono i soli mezzi non equivoci di consultare in questo caso l'esperienza, dobbiamo attenerci al resultamento che essa ci presenta con tutti i caratteri delle verità che per noi sono dimostrate.

DIVERSE REFRANGIBILITA' DEI RAGGI DIVERSAMENTE COLORATI.

1104. Qui si presentava un nuovo genere di ricerche, per paragonare tanto fra loro quanto con la legge generale di refrazione le leggi delle refrazioni particolari, a cui vanno soggetti i differenti colori dell'immagine. Quando i fisici ci avevano assicurati con l'esperienza, che il seno d'incidenza era in rapporto costante con quello di refrazione, pensavano che tutti i raggi della luce si refrangessero d'egual quantità sotto la stessa incidenza; ma il vero è che i raggi sono diversamente refrangibili, sicchè i resultamenti ottenuti da quei fisici debbono riguardarsi come specie di mezzi termini fra tutte le refrazioni dei diversi raggi; e quindi non può dedursene altra conseguenza, se non che i raggi verdi i quali corrispondono al mezzo dell'immagine colorata del sole, essendo separati dagli altri, devono avere il loro angolo di refrazione in rapporto costante con il loro angolo d'incidenza. Newton con alcune esperienze dirette ha provato, che il rapporto è parimente costante per i raggi di tutti i colori, lo che può dimostrarsi rigorosamente con la Geometria, supponendo, con moltissima probabilità, che l'azione dei corpi sulla luce si eserciti perpendicolarmente alla superficie di questi corpi; poichè in questa ipotesi potrà applicarsi a qualunque specie di raggi la dimostrazione generale che abbiamo data parlando della refrazione. (Vedi la nota al §. 1057).

1105. Restava da determinarsi il rapporto particolare che ha luogo per ciascuna specie di luce omogenea, o almeno il limite di questo rapporto. A tal fine, Newton dispose un prisma nel modo ordinario, per produrre sul muro opposto alla finestra un'immagine colorata del sole; ma poichè, per il buon esito dell'esperienza, era necessario che i lati rettilinei di questa immagine fossero distintissimi, per ottener questo, Newton pose l'obbiettivo di un telescopio all'apertura per cui entrava la luce.

Quindi con ripetute osservazioni, nelle quali fu aiutato da un amico che aveva l'occhio esercitato a ben distinguere i colori, notò sull'immagine colorata i limiti dei sette colori principali, conducendo i diametri dei due circoli estremi, uno dei quali dava il violetto, e l'altro il rosso, e dividendo quindi in sette parti lo spazio intermedio, con linee parallele a questi diametri: finalmente avendo prolungato uno

dei lati rettilinei dell'immagine al di là del rosso, finchè il prolungamento fosse eguale alla distanza fra i diametri dei due circoli estremi, misurò la distanza fra ciascuna linea trasversale, e l'estremità del prolungamento, cominciando dal diametro del circolo violetto, e andando successivamente dal violetto al rosso, lo che in tutto formava otto distanze. In tal modo trovò che queste distanze erano fra loro nel rapporto dei numeri $1, \frac{8}{9}, \frac{5}{6}, \frac{3}{4}, \frac{2}{3}, \frac{3}{5}, \frac{9}{16}, \frac{1}{2}$, e la serie di questi numeri aveva questa proprietà singolare di esser simile a quella che rappresenta gl'intervalli dei suoni, *do*, *re*, *mi* bimmolle, *fa*, *sol*, *la*, *si*, *do*, di cui è formata la nostra scala musicale, presa nel tuono minore (*a*).

Da quanto abbiamo detto resulta, che la divisione della linea su cui Newton aveva notato i limiti dei sette colori principali, era la stessa che in un monocordo, le diverse lunghezze del quale producessero i sette suoni della scala, che appartengono al tuono minore. In conseguenza di questa conformità di rapporti, alcuni fisici hanno creduto che esistesse un'analogia reale fra i suoni e i colori; ma questa è piuttosto un'analogia per caso, e dall'altra parte fortissime ragioni si oppongono alla pretensione di far cantare i colori.

1106. Newton per mezzo d'un'altra esperienza aveva determinato precedentemente il rapporto fra il seno di refrazione dei raggi meno refrangibili dello spettro solare, e quello dei raggi più refrangibili, sotto una stessa incidenza; e se per esempio si indichi con 50 il seno d'incidenza, sarà 77 il seno di refrazione dei raggi rossi, e 78 quello dei raggi violetti.

Ma poichè nella divisione dell'immagine colorata che dava i limiti dei colori vicini, le situazioni delle linee trasverse che corrispondevano a questi limiti, erano determinate dai punti del muro sui quali cadevano le estremità dei raggi spezzati, relativi ai limiti stessi, e poichè piccolissimi erano gli angoli che formavano fra loro questi raggi spezzati, potevan prendersi, senza errore sensibile, le distanze fra i punti del muro ai quali essi facevan capo, o le distanze fra i limiti segnati sull'immagine, per le differenze successive fra i seni degli angoli di refrazione nel passaggio dal vetro nell'aria: così dividendo la differenza fra i numeri 77 e 78 in parti proporzionali agl'intervalli fra i limiti dei colori dell'immagine, si aveva $77, 77\frac{1}{8}, 77\frac{1}{5}, 77\frac{1}{3}, 77\frac{1}{2}, 77\frac{2}{3}, 77\frac{7}{9}$, 78, per espressioni dei seni di refrazion, dei diversi raggi relativi a un medesimo seno d'incidenza espresso da 50. Da ciò resultava che i seni

(*a*) *Optice lucis*, *lib.* I, *pars* 2, *prop.* 3. *probl.* 1, *exper.* 7. Il sesto rapporto $\frac{9}{16}$ è un poco diverso dal rapporto $\frac{5}{9}$ che gli corrisponde nella nostra scala (§. 526); esso dà per il *si* un suono un poco più basso di quello di questa scala medesima.

di refrazione dei raggi rossi, relativi a tutte le gradazioni di questo colore, si estendevano da 77 fino a $77\frac{1}{8}$; quelle dei raggi aranci, da $77\frac{1}{8}$ fino a $77\frac{1}{5}$; quelle dei raggi gialli, da $77\frac{1}{5}$ fino a $77\frac{1}{3}$, e così di seguito per i raggi verdi, celesti, indaco, e violetti.

NUOVA PROVA CHE LA LUCE NON È SE NON UNA SEMPLICE MESCOLANZA DI RAGGI ETEROGENEI.

1107. Abbiamo veduto che nella luce vi sono certi raggi che hanno infinite gradazioni di colori, ciascuna delle quali nella sua refrazione è soggetta a un rapporto fra i seni, che le è come inerente, e che non soffre alcuna alterazione. Questi raggi i quali differiscono e per le loro tinte e per le quantità delle loro refrazioni, devono considerarsi come eterogenei, poichè quando tutti insieme incontrano a una stessa incidenza la superficie d'un medesimo mezzo refrangente, provano per parte di questo mezzo diverse attrazioni, che dobbiamo supporre diverse nella lor maniera di essere. La mescolanza di tutti i colori forma la luce che chiamiamo *bianco*; dimanicrachè basta sopprimere in questa luce qualcuno dei colori che la compongono, per produrre un colore particolare, che varierà secondo il numero e le specie di quelli che si lasceranno sussistere: così quando si ricevono sopra una lente i raggi diversamente colorati, che divergono all'uscire dal prisma, e si pone un cartone bianco al di là di questa lente, nel punto in cui si riuniscono in un fuoco comune i raggi che essa ha resi convergenti, il circolo luminoso formato da essi sul cartone è d'un color bianco. Se in questo stato di cose si ponga fra la lente e il prisma un corpo opaco, che intercetti uno o più colori refratti dal prisma, subito la luce bianca ricevuta dal cartone cederà il posto a un colore o semplice o mescolato: per esempio, se si intercetta il violetto, il celeste o il verde, gli altri colori cioè il giallo, l'arancio e il rosso formeranno un colore composto che sarà un giallo vivo: sopprimendo al contrario i tre ultimi colori, avremo una mescolanza di violetto, verde e celeste, che formerà un colore tendente al verde. In tutte queste variazioni di colori, i raggi non cambiano qualità; e senza avere alcuna azione gli uni sugli altri, non fanno che mescolarsi in diverse proporzioni.

1108. Queste conseguenze si trovano confermate da una nuova esperienza di Newton, l'idea della quale gli nacque da un'osservazione a tutti nota, che è la seguente. L'impressione della luce sulla retina non è un effetto istantaneo, e da ciò deriva, che facendo girare nell'aria rapidamente un carbone acceso, l'occhio vede un circolo di fuoco che sembra fisso finchè dura il moto del carbone; poichè l'impressione

fatta fin dal primo momento su qualche punto dell'organo dalla luce che proviene dal carbone, persiste finchè il raggio torni nel punto in cui era quando accadde questa impressione, e così la sensazione si rinnova incessantemente prima di venir distrutta. In conseguenza di questa osservazione, Newton volle provare se i varii colori dello spettro solare potessero agire sull'occhio, succedendosi con tanta rapidità, che nel momento di ciascuna impressione, non ancora scancellate le tracce delle impressioni precedenti, l'effetto fosse eguale a quello di una sensazione unica, prodotta da un color bianco permanente (*a*).

Per verificare questa idea, Newton si era provisto di uno strumento che aveva la forma di un pettine composto di sedici denti, larghi circa 40 millimetri, o un pollice e mezzo, e distanti l'uno dall'altro circa 54 millimetri o due pollici. Avendo fatto cadere sopra una lente i raggi che eran passati a traverso di un prisma, pose al di là di questa lente una carta a tal distanza, che l'immagine del sole vi comparisse bianca, quando i raggi andavano liberamente dal prisma alla lente. Pose quindi successivamente i denti del pettine immediatamente avanti alla lente, in modo da intercettare una parte dei raggi colorati che erano per entrare in essa, mentre gli altri raggi che potevano passare liberamente a traverso della medesima, andavano a disegnare sulla carta l'immagine colorata del sole. Quest'immagine allora perdeva la sua bianchezza, e prendeva sempre un colore composto di tutti quelli dei raggi che non erano stati intercettati, e questo colore variava continuamente al variare della situazione del pettine. Ma quando Newton imprimeva al pettine un moto tanto rapido, che la precipitazione con cui si succedevano le impressioni dei diversi colori, non lasciasse più all'occhio il tempo di distinguerli, non si vedeva più nè rosso nè giallo nè verde nè celeste nè violetto, ma dalla mescolanza confusa di tutti i colori nasceva un bianco uniforme, di cui però nessuna parte era bianca, mentre ciascun colore proseguiva ad esistervi particolarmente. Quando poi si ritirava il pettine, non appariva verun cambiamento nella maniera di essere della luce bianca, che l'occhio scorgeva tuttora sulla carta; e solamente tutti i colori agivano in questo caso contemporaneamente sull'organo, mentre quando si adoperava il pettine agivano successivamente, ma a sì piccoli intervalli di tempo, che l'effetto equivaleva a un concorso di azioni contemporanee.

(*a*) *Optice. lucis, lib.* I, *pars* 2, *propos.* 5, *exper.* 10.

CONFUTAZIONE DELL'OPINIONE CHE LA LUCE SIA COMPOSTA DI TRE SOLI COLORI.

1109. Nell'immagine colorata prodotta dalla refrazione del prisma, il color arancio è fra il giallo e il rosso, e il verde fra il celeste e il giallo. Ma è noto che mescolando artificialmente giallo con rosso, resulta un colore arancio, e mescolando giallo con celeste, si ottiene un color verde. In conseguenza di questa osservazione alcuni fisici hanno pensato, che l'arancio e il verde prodotti dalla refrazione della luce a traverso del prisma, derivassero dalla mescolanza di due colori vicini, e dovessero quindi sopprimersi nell'ordine dei colori omogenei. Ma questa idea è visibilmente smentita dall'esperienza, perchè se si isolino i raggi verdi dell'immagine, intercettando gli altri colori, e si facciano passare questi raggi a traverso di due, tre o quattro prismi, essi conserveranno costantemente il loro color verde. Al contrario se si intercettino i raggi verdi, rossi e violetti, lasciando sussistere soltanto il giallo e il celeste mescolati insieme nel fuoco di una lente, per mezzo dell'operazione che abbiamo descritta precedentemente (§. 1102), avremo in principio un color verde; ma se si faccia passare questo colore a traverso di un altro prisma, subito si scioglie nei suoi colori componenti, in modo che il celeste ed il verde resteranno dipinti separatamente sopra un cartone bianco posto al di là del secondo prisma. A questa opinione si oppone la situazione del rosso tanto lontano dal violetto, il quale si trova posto accanto al celeste, poichè il violetto si forma artificialmente con una mescolanza di rosso e di celeste; e così può comporsi in pittura una specie d'imitazione dell'immagine colorata quale si ottiene con l'esperienza, per mezzo di tre colori soltanto, cioè rosso, giallo e celeste; e sappiamo infatti dalla storia che gli antichi pittori hanno operato per lungo tempo con questi colori (*a*) Può essere che questa facoltà di far molto con poco, sia per l'arte una vera ricchezza, ma però è un impoverir la natura, il volerla ristringere nei limiti dei nostri mezzi artificiali.

SPIEGAZIONE DELLE APPARENZE PRESENTATE DAGLI OGGETTI VISTI A TRAVERSO DI UN PRISMA.

1110. Per mezzo di un prisma *a bc* (*fig.* 51) si guardi un oggetto vicino, come un cartone bianco, un poco esteso, situato verticalmente, e di figura rettangolare, che abbia due dei suoi orli paralleli all'asse

(*a*) *Encyclopédie méthod., première partie, Beaux-Arts*, t. I, p. 60.

del prisma, la qual situazione e figura sono adattatissime per ridurre l'esperienza a un caso semplice, potendo però in proporzione applicarsi a qualunque caso quanto diremo su questo proposito

Da quanto dicemmo (§. 1090) intorno alla refrazione dei raggi a traverso di un prisma che gira sul suo asse, si comprende che secondo le diverse maniere con cui verrà mosso il prisma, l'immagine del cartone potrà vedersi nella situazione in cui essa diviene stazionaria, o elevarsi alquanto sopra questa situazione, o abbassarsi alquanto. E in ciascuna di queste situazioni l'orlo superiore presenterà successivamente e scendendo, quattro fasce di diversi colori, delle quali la più alta sarà il rosso puro, e le altre tre saranno mescolate di rosso e d'arancio, d'arancio e di giallo, e di questi tre colori uniti al verde. L'orlo inferiore presenterà quattro altre fasce, che guardate dal basso in alto faranno vedere il violetto puro, il violetto mescolato con l'indaco, quindi questi due colori uniti al celeste, e finalmente questi tre ultimi colori uniti al verde, e lo spazio intermedio resterà bianco.

1111. Per spiegare questo effetto osserveremo, che da ogni punto del cartone partono diversi raggi di tutti i colori, i quali dopo essersi refratti nel passare a traverso del prisma, si dirigono verso l'occhio in forma di una specie di piramide, il vertice della quale è nella pupilla. Se supponiamo che esistano solamente raggi rossi, la superficie intera del cartone comparirà tinta di questo medesimo colore; e ciascun'altra specie di raggi, se esistesse sola, farebbe vedere egualmente la superficie del cartone tinta del colore particolare di questa specie Riuniamo ora tutti i colori: in tal caso le immagini che ciascuno di essi tende a produrre separatamente, potranno considerarsi come altrettanti rettangoli di sette colori diversi, che con i loro orli superiori o inferiori si sorpassano in parte reciprocamente, a motivo della differenza delle refrazioni. In questa specie di accavalcatura d'un colore sull'altro, il rosso si alzerà alquanto sopra l'arancio, questo un poco sopra il giallo, e così di seguito, dimanierachè verso l'orlo opposto il violetto scenderà sotto l'indaco, questo sotto il celeste, ec.

Da ciò resulta che la parte superiore del cartone terminerà con una fascia di rosso puro; e che sotto questa fascia ve ne sarà un'altra mescolata di rosso, e d'arancio, quindi una terza mescolata di rosso, d'arancio e di giallo, e finalmente una quarta mescolata di rosso, d'arancio, di giallo e di verde. Se quindi si considerano nuovamente i colori, andando dal basso all'alto, è chiaro che la parte inferiore deve essere orlata di una fascia di violetto puro, sopra la quale se ne troverà un'altra mescolata di violetto e d'indaco, quindi una terza mescolata di violetto, d'indaco e di celeste, e finalmente una quarta mescolata di violet-

to, d'indaco, di celeste e di verde. Nello spazio compreso fra questa quarta fascia e la quarta nell'ordine superiore, tutti i colori mescolati produrranno il bianco.

In tutto questo però si suppone il cartone di una certa estensione, come abbiamo detto, poichè quanto sarà meno alto, tanto più i colori si sprigioneranno uno dall'altro verso il mezzo di esso, e si porranno quasi nell'ordine che si osserva nell'immagine colorata prodotta dalla refrazione del prisma, nell'esperienza ordinaria; dimanierachè il cartone può essere tanto stretto, che i varii colori si succedano, senza lasciare alcuno spazio bianco intermedio.

DELL'ARCO-BALENO.

1112. La luce che abbellisce con tanta magnificenza un cielo puro e sereno, con lo spettacolo degli astri che vi sono sparsi, qualche volta ancora per un cielo oscuro e nuvoloso diviene un ornamento, che per la pompa e varietà dei suoi ricchi colori, sembra richiamare gli sguardi e l'attenzione di chiunque è in stato di vederlo. In queste poche espressioni ognuno ravvisa l'arco-baleno. È noto che questo fenomeno accade soltanto quando una nube opposta al sole chiaro si scioglie in pioggia, e però in tal caso lo spettatore ha sempre le spalle voltate verso il sole. Spesso si veggono due archi, uno interno con colori più vivi, e l'altro esterno e più languido; in ambedue si scorge la stessa serie di colori prodotti dall'immagine per mezzo del prisma, cioè il rosso, l'arancio, il giallo, il verde, il celeste, l'indaco e il violetto; ma nell'arco interno il rosso è più alto, e nell'esterno è più alto il violetto. Questi due archi dipendono dalla refrazione della luce combinata con la sua reflessione, e non si scorgono se non quando i raggi incidenti fanno con i raggi emergenti un certo angolo che indicheremo fra poco.

1113. Sembra che Antonio de Dominis, sia stato il primo a dare una probabile spiegazione fisica dell'arco-baleno. Egli lo imitò per mezzo d'un'esperienza che indicheremo, e determinò le diverse inflessioni della luce nelle gocce della pioggia; ma questa determinazione non è esattissima, relativamente all'arco esterno. Cartesio la riformò di nuovo, e indicò molto più precisamente il corso dei raggi. Finalmente Newton avendo voluto dare egli pure questa spiegazione, vi aggiunse quel grado di perfezione che le mancava, analizzando la distribuzione del colorito, che è come l'anima del fenomeno; e noi per spiegarlo seguiremo appunto i suoi principii.

Raggi efficaci nel caso di due refrazioni e di una sola reflessione.

1114. Sia *fzpq* (*fig.* 58) la circonferenza di un gran circolo proveniente da una sezione fatta in un globo trasparente d'una densità maggiore di quella dell'aria. Condotto un diametro qualunque *fp*, supponiamo che un fascio *yf* di raggi incidenti omogenei, situato primieramente sulla direzione di *fp*, salga parallelamente a se stesso lungo il quarto di circolo *fz*: questo fascio, giunto per esempio in *ab*, si refrangerà nel punto d'incidenza in una direzione come *bd*, quindi si suddividerà in due parti, una delle quali passerà nuovamente nell'aria, soffrendo in essa una nuova refrazione, e l'altra eviterà ogni refrazione, reflettendosi sulla concavità interna del circolo in una direzione *dt*, sicchè l'arco *dqt* sarà eguale all'arco *dzb*. Questa medesima parte, passando essa pure di nuovo nell'aria, si refrangerà in essa in una direzione *tm*, che farà con la perpendicolare nel punto *t* un angolo eguale all'angolo d'incidenza del fascio *ab*.

Se prolunghiamo le linee *ab* ed *mt* finchè si incontrino in *x*, l'angolo *axm* sarà quello che fa il raggio incidente col raggio emergente; e si dimostra col calcolo, che mentre il raggio incidente si muove lungo il quadrante *fhz*, l'angolo *axm* cresce fino a un certo limite, passato il quale nuovamente scema.

Per ben comprendere che ciò deve realmente accadere, bisogna osservare che il valore dell'angolo *axm* è doppio dell'arco *dp* (*a*); e a misura che *ab* monta lungo *fhz*, ancora *dp* va crescendo fino a un certo limite, passato il quale scema. E ciò apparirà chiaro, osservando che l'angolo d'incidenza crescendo sempre a misura che *yf* si alza, se si prendano due raggi incidenti come *rh*, *ab*, il raggio spezzato *hr* che appartiene al primo, si inclinerà necessariamente verso *bd*, che è il raggio spezzato relativo al secondo. Ora, finchè la porzione del quadrante *fhz* incontrata dai raggi incidenti, è poco inclinata sul diametro *fp*, il raggio *hr* è interamente sopra il raggio *bd*, supponendo ancora piccolissimo l'arco *bh*; ma a misura che l'arco diviene più obliquo, il raggio *hr* si inclina di più verso *bd*, sicchè vi è un termine in cui le estremità dei raggi spezzati si confondono in un punto comune *d* (*fig.* 59); e al di là di questo termine l'arco divien sempre più obliquo, e i due raggi spezzati come *dh*, *su*, che appartengono ai raggi incidenti *ch*, *ns*, si incro-

(*a*) Conducendo *xl* che passi per il centro, e che in conseguenza taglierà in due parti eguali l'arco *bt*, avremo per la misura dell'angolo *axm*, $\frac{1}{2}(bt-go)$ $=bl+ll-dg=gp+lp-dg=dg+lp+dp-dg=2dp$.

ciano; dal che apparisce che *dp* (*fig.* 58) va crescendo fino a un punto in cui i punti *r* e *d* divengono contigui, e scema poi dopo questo termine, a cui corrisponde la massima ottusità dell'angolo *axm* (*a*).

1115. Ricordiamoci ora dell'osservazione già fatta precedentemente, (§. 1086) che le variazioni di una quantità che si accosta al suo limite, o che principia soltanto ad allontanarsene, sono quasi insensibili. Concluderemo dunque, che in vicinanza del punto *d*, in cui le quantità di cui si inclinano gli uni sugli altri i raggi spezzati, crescono di una quantità infinitesima; e la densità della luce refratta, e quella della luce reflessa sulla concavità del circolo, sono molto maggiori che in qualunque altra parte: dal che segue che i raggi emergenti derivati da questa medesima luce, come *tm*, *ik*, ec. (*fig.* 59), saranno essi pure molto più abbondanti sopra un piccolo spazio dato.

Dall'altra parte tutti questi raggi emergenti saranno sensibilmente paralleli fra loro, a motivo del concorso dei raggi spezzati in uno stesso punto. Dunque se si supponga che nel tempo stesso cadano alcuni raggi su tutti i punti del quadrante *fhz*, e che esista uno spettatore che abbia l'occhio situato nel punto *o*, preso sopra una linea che passi fra *mt* e *ki*, questo occhio riceverà molto maggior numero di raggi che se fosse situato in qualunque altro punto, tanto perchè quelli nella direzione dei quali egli si trova sono molto più ammassati, quanto perchè essendo paralleli entreranno in maggior numero nella pupilla, di quello che se l'occhio non fosse in stato di ricevere se non quelli che escono divergendo dagli altri punti compresi fra *f* e *q*.

1116. Questi raggi che si accumulano in certo modo in vicinanza del limite, sono stati chiamati *raggi efficaci*, perchè sono i soli di cui sia molto sensibile l'impressione. Possono rassomigliarsi a quelli che uno specchio concavo o una lente riunisce in un fuoco comune, in cui si concentra la loro attività.

(*a*) Quanto è più obliqua la porzione dell'arco incontrata dai raggi incidenti, tanto più cresce la differenza fra le incidenze alle due estremità d'uno stesso arco *bh*, *hs*, ec. (*fig.* 59), supponendo eguali questi archi. Inoltre è chiaro che i raggi *ch*, *ns* sono più avvicinati fra loro dei raggi *ab*, *ch*.

Ora queste due cause tendono ad accrescere l'inclinazione respettiva che hanno fra loro due raggi refratti, e questo aumento diviene finalmente tale che i raggi si incrociano.

Raggi efficaci nel caso di due refrazioni e di due reflessioni.

1117. I raggi che si reflettono dal punto d al punto t, non tornano tutti nell'aria, ma una parte si reflette di nuovo sulla concavità del circolo, dimanierachè la luce soffre successivamente due, tre, quattro, ec. reflessioni, a ognuna delle quali v'è un certo numero di raggi che rientrano nell'aria circostante. Ci limiteremo qui a considerare l'effetto di due reflessioni.

1118. Figuriamoci dunque di nuovo che un fascio qi (*fig.* 60) di luce omogenea, la direzione del quale coincida col diametro ie, salga parallelamente a se stesso lungo il quadrante inv, e che in ciascuna delle sue situazioni come ab, una parte dei raggi spezzati che hanno percorso bd, dopo essersi reflessi da d in g, e quindi da g in t, entrino di nuovo nell'aria secondo la direzione tr, che s' incrocia nel punto z col raggio incidente ab. Si dimostra che in questa ipotesi l'angolo azr scema fino a un certo termine, dopo il quale cresce.

Per dare un'idea di questa variazione, che è l'inversa di quella che abbiam veduto accadere nel caso d'una sola reflessione, conduciamo i prolungamenti bu, ty dei raggi ab, rt, quindi la linea zl che passa per il centro c e taglia in due metà l'angolo bzt eguale ad azr. In una maniera semplicissima si prova che la misura di questo angolo è doppia dell'arco is (*a*). Ma mentre il raggio incidente si muove lungo inv, l'arco stesso is scema in principio, e quindi comincia a crescere: infatti l'angolo d'incidenza divenendo sempre maggiore a misura che il raggio si alza, se si prendano due di questi raggi come ab, mn, si comprenderà, applicando qui il ragionamento fatto di sopra (§. 1113), che il raggio spezzato no, il quale appartiene al raggio incidente mn, deve inclinarsi sempre più verso bd, che è il raggio spezzato relativo ad ab, dimanierachè a un certo termine il punto o si confonde col punto d, e quindi i due raggi si incrociano. E primieramente in tutte le situazioni anteriori a questo incrociamento l'arco is scema. Per provarlo osserviamo che i tre raggi bd, gd, gt essendo eguali, la linea zl che divide in due parti l'angolo bzt passa per il mezzo k del raggio dg che nasce dalla prima reflessione. Se ora consideriamo l'altro raggio incidente mn, chiaramente si vede che il raggio spezzato no che gli appartiene, sarà minore di bd, e del pari il raggio reflesso of sarà minore del suo analogo dg. In conseguenza appunto di tal differenza e della situazione respettiva

(*a*) Questa misura è $\frac{1}{2}(yx - bt) = cx + cl - bs = bs + is + is - bs = 2is$.

dei due raggi, il mezzo *k'* del raggio *of* è più alto del mezzo *k* del raggio *dg*, e quindi il diametro *l'k'es'*, che prolungato dividerebbe in due parti l'angolo formato dal raggio incidente *mn* col suo raggio emergente, ha la sua estremità *s'* situata fra i punti *s*, *i*: dunque l'arco *is* è scemato.

Se si supponga che mentre il raggio incidente prosegue ad essere più elevato, il raggio *no* giunga a tagliare il raggio *bd*, poca attenzione basterà per far comprendere, che il raggio *of* trovandosi allora interamente al di là del raggio *dg*, diverrà quasi parallelo a se medesimo; nel tempo stesso l'angolo analogo ad *azr* seguiterà a scemare, ma sempre più lentamente, e quando *of* sarà divenuto parallelo a *dg*, come si osserva nella *fig.* 61, i punti *k* e *k'* si troveranno sopra uno stesso diametro, e l'angolo *azr* sarà divenuto il più acuto possibile. E realmente se ci immaginiamo che il raggio incidente prosegua a salire, mentre il raggio *no* si abbassa sempre più sotto il raggio *bd* con la sua parte situata verso o, il raggio *of* convergerà con *dg*, e il punto *k'* comincerà a scendere sotto il punto *k*; dal che segue che il diametro *l'k'es'* (*fig.* 60) avrà la sua estremità *s'* situata sopra il punto *s*, e così l'arco *is* si troverà aumentato.

1119 Quando l'angolo *azr* è divenuto il minimo possibile, nel qual caso il raggio *of* (*fig.* 61) è divenuto parallelo a *dg*, il raggio emergente *tr* è parimente parallelo al raggio emergente *ph*. Ora per ridurre questo andamento dei raggi al caso dell'arco-baleno, bisogna supporre, lo che è lo stesso, che *rt* e *hp* facciano le veci di raggi incidenti, e che *ba* ed *nm* sieno i raggi emergenti corrispondenti; e applicando qui ciò che dicemmo (§. 1114) relativamente ai raggi che soffrono una sola reflessione, si concluderà, che un occhio situato sulla direzione d'una linea condotta fra *nm* e *ba*, deve ricevere molto maggior numero di raggi che in qualunque altra situazione, cioè riceverà i raggi efficaci.

Valori degli angoli che determinano gli effetti dei raggi efficaci.

1120. Se si supponga che la luce incidente passi dall'aria nell'acqua, l'angolo *axm* (*fig.* 58) sarà massimo per i raggi rossi, quando sarà di 42° 2', e per i raggi violetti quando sarà di 40° 17'. Nello stesso caso l'arco *bf* che misura l'angolo d'incidenza del raggio *ab*, a motivo del parallelismo fra *ab* e il diametro *fp*, è di 59° 24' per i raggi rossi, e di 58° 41' per i violetti.

Dall'altra parte il minimo angolo *azr* (*fig.* 61), relativamente ai raggi rossi, è di 50° 57', e relativamente ai raggi violetti è di 54° 7';

l'angolo d'incidenza del raggio *hp* è allora di 71° 50' per i raggi rossi, e di 71° 26' per i violetti.

Applicazione dei principii precedenti ai fenomeni dell'Arco-baleno.

1121. Figuriamoci uno spettatore che abbia l'occhio situato in O (*fig.* 62), e quattro globetti d'acqua *df*, *ac*, *kr*, *gl* talmente situati; che i raggi solari *sd*, *sa*, *sr*, *sl*, dopo due refrazioni e una reflessione nei globetti inferiori, o dopo due refrazioni e due reflessioni nei globetti superiori, facciano con i raggi emergenti angoli eguali a quelli che abbiamo citati, cioè OxS di 40° 17', OzS di 42° 2', OyS di 50° 57', e OuS di 54° 7': qui supponiamo che i raggi partano dal centro del sole; e poichè la distanza che essi percorrono è quasi infinita, relativamente a quella che separa i globetti d'acqua, questi si riguardano come paralleli fra loro.

Ora da quanto abbiamo detto di sopra (§. 1119) chiaramente apparisce, che l'angolo OzS di 42° 2' essendo quello che fanno fra loro i raggi rossi incidenti ed emergenti, nel caso in cui questi raggi son più condensati, l'occhio scorgerà il più vivace rosso nel globetto *ac*, egualmente, che in tutti gli altri situati similmente sulla direzione Oc. E poichè dall'altra parte l'angolo OxS è quello che si riferisce ai raggi violetti efficaci, l'osservatore vedrà il violetto più intenso nel globetto *df*, e in tutti quelli che sono sulla direzione O*f*: inoltre egli non vedrà che il rosso nei primi globetti, e il violetto nei secondi, poichè i raggi aranci, per esempio, che hanno maggior refrazione dei raggi rossi, devono, per essere efficaci, refrangersi in modo, che l'angolo formato dagli incidenti con gli emergenti sia minore di 42° 2', e maggiore di 40° 17'; e poichè questo angolo è il maggiore fra tutti quelli che posson fare i raggi stessi, esso non può aver luogo per il globetto *ac* o *df*, ma esisterà in qualcuno dei globetti intermedii. Da ciò segue che i colori compresi fra il rosso e il violetto, come pure le loro gradazioni, saranno vedute successivamente nei globetti situati fra *ac* e *df*, secondo l'ordine prescritto dai loro diversi gradi di refrangibilità; sicchè la successione di tutti i colori, considerata dall'alto in basso, sarà questa: rosso, arancio, giallo, verde, celeste, indaco, violetto; ma il violetto essendo mescolato col colore biancastro delle nuvole adiacenti, si troverà indebolito da questa mescolanza, e tenderà al color di porpora.

1122 Sia ora OP una retta parallela ai raggi solari, e questa linea si chiami l'asse della visione. Figuriamoci che i raggi Ox, Oz, e tutti gli altri che appartengono ai globetti intermedii, restando fissi con il

loro punto comune O, girino intorno ad OP, facendo sempre lo stesso angolo con questa linea: questi raggi descriveranno una fascia curvilinea CDfEGa che terminerà all'orizzonte, e tutti i globetti situati nei limiti di questa fascia, egualmente che quelli i quali si trovano sulle superficie coniche descritte dal moto dei raggi xO, Oz, ec., faranno vedere all'occhio alcuni colori, che si estenderanno circolarmente su tutta la superficie CDfEGa nello stesso ordine che i colori compresi da a fino in f: tale è la maniera con cui si forma l'arco interno.

1123. Applicando il medesimo ragionamento all'arco esterno, si vedrà che l'angolo OuS di 54° 7' essendo quello che fanno fra loro i raggi violetti incidenti ed emergenti, che agiscono più efficacemente, l'osservatore vedrà il violetto cupo nel globetto gl. Inoltre l'angolo OyS di 50° 57 essendo pur quello che fanno fra loro i raggi rossi, l'osservatore scorgerà il rosso più vivace nel globetto kr: gli altri colori poi appariranno successivamente con tutte le loro gradazioni nei globetti intermedii, e si estenderanno, come il violetto e il rosso, sulla superficie di una fascia curvilinea ABmHNg, che formerà l'arco esterno. Ma tutti questi colori appariranno in un ordine rovesciato, relativamente a quelli dell'arco interno, sicchè andando dall'alto in basso la loro successione sarà questa: violetto, indaco, celeste, verde, giallo, arancio, rosso. Saranno però molto più deboli, perchè i raggi che li producono soffrono due reflessioni, e ad ogni reflessione v'è sempre una parte di essi che passa nuovamente nell'aria.

Larghezze dei due archi.

1124. La larghezza apparente dell'arco interno, dedotta dai principii che abbiamo esposti, è di 1° 45', che è la differenza fra gli angoli OxS, OzS; quella dell'arco esterno è di 3° 10', che è la differenza fra gli angoli OyS, OuS; e la distanza fra i due archi è di 8° 55', che è la differenza fra gli angoli OyS, OzS.

1125. E tali sarebbero effettivamente le dimensioni dei due archi, se il sole non fosse che un punto, o se non mandasse verso le gocce di pioggia se non raggi partiti dal suo centro; ma perchè ne vengono egualmente da tutti i punti del suo disco, è aumentata alquanto la grandezza d'ambedue gli archi.

Per intendere come accada un tale aumento, osserviamo che il diametro del sole, veduto dall'immensa distanza che ci separa da questo astro, sottende un angolo di circa 30' (§. 1091). Se dunque ci limitiamo ad esaminare i due raggi che partono dalle estremità del diametro, considerato verticalmente, si vede che l'effetto del raggio superiore, relati-

vamente a quello del raggio centrale, è lo stesso, come se il sole, dopo aver prodotti questi due archi in virtù di questo solo raggio, si trovasse tutto a un tratto alzato un quarto di grado sopra l'orizzonte; e che, per avere similmente l'effetto del raggio inferiore, basta supporre che il sole si abbassi un quarto di grado verso l'orizzonte.

1126. Ciò premesso, sia $s's''$ (*fig.* 63) il diametro verticale del sole, e *sz* il raggio che produce il rosso dell'arco interno, per mezzo del globetto *ac*, come l'abbiamo spiegato precedentemente, e sia sempre *o* la situazione dell'occhio, e *oz* il raggio emergente. Figuriamoci che il punto *s* sia trasportato in *s'*, e che un raggio partito da *s'* prenda una direzione *s'gz'*, che in qualche punto *g* si incroci con quella del raggio *sz*. Condotta *og*, descriviamo una circonferenza di circolo, che passi per i punti *z*, *o*, *g*, e dal punto *o* conduciamo la linea *oz'* che incontri *s'z'* nel punto in cui questa taglia la circonferenza. L'angolo *gz'o* sarà evidentemente eguale all'angolo *gzo*, cioè sarà di 42° 2', e nel tempo stesso l'angolo *zgz'* sarà un quarto di grado, come l'angolo *sgs'* che misura il semi-diametro del sole: dunque la situazione del raggio *s'z'* è quella che soddisfa alla condizione richiesta, perchè l'occhio vede di nuovo il rosso nel globetto *a'c'* posto sopra il globetto *ac*.

I raggi che appartengono agli altri colori, e che si suppone che partano egualmente dal punto *s'*, faranno vedere questi medesimi colori in altri globetti inferiori al globetto *az*, dimanierachè si formerà un secondo arco, tutti i punti del quale si alzeranno 15' sopra quelli che corrispondono ad essi nell'arco prodotto dai raggi emanati dal punto *s*, lo che farà crescere 15' la larghezza di questo ultimo arco verso il suo orlo superiore.

Ragionando in egual modo relativamente al punto *s''*, si concluderà che un raggio *s''z''* che si incrocia col raggio *sz* nel punto *g*, farà pure un angolo di 42° 2' col raggio *oz''* condotto dall'occhio al punto in cui *s''z''* incontra la circonferenza; dal che resulta che l'occhio vedrà pure il rosso in un globetto *a''c''* situato sotto il globetto *az*: e poichè tutti gli altri colori compariranno nuovamente in globetti inferiori, la riunione dei raggi partiti da *s''* produrrà un terzo arco, tutti i punti del quale si abbasseranno 15' sotto i punti analoghi dell'arco formato dai raggi emanati da *s*; per la qual cosa la larghezza di questo arco verso il suo orlo inferiore crescerà 15'. Così la larghezza totale sorpasserà di 30' quella che nasceva in virtù della sola refrazione del raggio *sz*, dimanierachè essa sarà 2° 15'.

Per una necessaria conseguenza l'arco esterno diverrà maggiore in larghezza, e in tutto sarà di 3° 40'; e poichè la distanza fra i due archi si

trova scemata di 30', non sarà più che di 8° 25; le quali dimensioni sono state verificate da Newton con osservazioni dirette (*a*).

Circostanze che fanno variare la parte visibile dell' Arco-baleno.

1127. Dell' arco-baleno si vede una parte maggiore o minore, secondo che il sole è più o meno elevato sull' orizzonte. Quando questo astro è vicino al piano stesso dell' orizzonte, l' asse OP (*fig.* 62) della visione, che è nel tempo stesso quello del cono formato da tutti i raggi efficaci, coincide pure o totalmente o quasi totalmente con l' orizzonte, e in questo caso l' arco baleno apparisce in figura di semicircolo. A misura che il sole si alza, l' asse OP si abbassa altrettanto sotto la sua prima situazione, e l' arco va scemando. Finalmente quando il sole è a 42° sopra l' orizzonte, l' asse trovandosi abbassato sotto questo circolo di egual numero di gradi, il vertice dell' arco-baleno tocca l' orizzonte; quindi è che se il sole si alza di più, l' arco interno sparisce, e resta soltanto una porzione dell' arco esterno, il quale non cesserà d' esser visibile se non quando l' elevazione del sole sia di 54°.

1128. Se un osservatore si trovi sopra un' eminenza quando il sole è sull' orizzonte, o ancora sotto, l' asse OP si alzerà sopra lo stesso orizzonte, e così l' arco sarà maggiore di un semicircolo; e se essendo elevatissimo il luogo, la nuvola sia vicinissima all' osservatore, potrà accadere che egli veda il circolo intero (*b*).

(*a*) *Optice lucis*, lib. II, par. 3, prop. 12.

(*b*) Smith, *Traité d'Optique*, 1767, p. 587. Sia NH (*fig.* 64) l' orizzonte, S il sole, elevato alquanto sopra questo circolo, O l' occhio dello spettatore, C un globetto di pioggia in cui l' occhio scorga il rosso: poichè le linee OC, OP son quasi infinitesime relativamente alla distanza dal sole alla terra, si comprenda come l' angolo COP può essere di 42° 2', non ostante la poca elevazione del sole, e come in conseguenza l' asse OP della visione debba quasi coincidere con l' orizzonte; e così l' arco-baleno sarà un semicircolo.

Se il sole S (*fig.* 65) è elevato 42° 2' sopra l' orizzonte, l' angolo SCO da una parte, e l' angolo COP dall' altra, essendo pure ciascuno di 42° 2', OC coinciderà con l' orizzonte, e però l' arco-baleno interno toccherà solamente l' orizzonte, e sarà tutto sotto di esso. Finalmente, se essendo il sole sull' orizzonte o sotto, lo spettatore sia sopra un' alta montagna, e la nube sia poco lontana, l' asse OP (*fig.* 64) potrà elevarsi talmente, che la linea CP, prolungata inferiormente di una quantità eguale a se stessa, termini all' orizzonte; e in questo caso lo spettatore vedrà il circolo intero.

Caso in cui si vedono più di due Archi-baleni.

1129. Dicemmo (§. 1117) che i raggi i quali sono entrati in una goccia di pioggia soffrono continue reflessioni, in virtù delle quali essi descrivono una specie di poligono che si ripiega sopra se stesso; ma a ciascun contatto dei raggi con la concavità del globetto, una parte non va soggetta alla reflessione, e passa di nuovo nell'aria, dimanierachè il numero di quelli che proseguono a reflettersi da un punto all'altro della stessa concavità, va sempre scemando. Possiamo dunque supporre che vi sieno alcuni raggi incidenti, la situazione dei quali, relativamente all'arco che incontrano, sia tale, che dopo tre reflessioni quelli d'un colore determinato che rieutreranno nell'aria, essendo nel caso dei raggi efficaci (§. 1115), si dirigano verso l'occhio; e così si formerà un terzo arco-baleno più alto del secondo: ma in questo caso i colori son tanto indeboliti per le perdite sofferte in ciascuna delle tre reflessioni, che di rado può distinguersi questo terzo arco, se non nel caso in cui il cielo sia oscurissimo nella parte situata in faccia allo spettatore, e il sole illumini moltissimo la parte opposta (*a*). Da questo si comprende egualmente la possibilità di un quarto arco-baleno, formato da raggi quattro volte reflessi e due volte refratti, e così di seguito, ma tutti questi archi non possono scorgersi che in teoria.

1130. Talvolta ancora si osservano sopra il primo arco-baleno altri archi, nei quali però di rado si scorge la riunione dei colori adattati a questo fenomeno, e ordinariamente non se ne veggono che uno o due. Pemberton attribuisce questi archi secondarii ad alcuni raggi che si disperdono, allontanandosi però così poco da quelli che producono l'arco-baleno ordinario, che l'occhio si trova sempre sulla loro direzione. Fra i colori che vengono da questi raggi, alcuni si perdono nella parte violetta del primo arco, e gli altri si scorgono distintamente nello spazio situato al di sotto (*b*).

1131. L'esperienza con cui Antonio de Dominis aveva rappresentato il fenomeno dell'arco-baleno, consisteva nel sospendere una pallina di vetro piena d'acqua in un luogo esposto al sole, facendola salire e scendere in modo, che gli angoli formati dai raggi incidenti ed emergenti variassero da 41° fino a 51° in circa. In tal caso si vedevano successivamente i colori

(*a*) Musschenbroeck, *Essai de Physique*, t. II, p. 793.

(*b*) Pemberton, *Elémens de Philosoph. Newton.*, *traduct. franç.*; Amsterdam, 1795, p. 488 e seg.

dei due archi nella pallina, nell'ordine stesso in cui appariscono nei globetti della pioggia.

1132. Con questa spiegazione dell'arco-baleno possono facilmente intendersi altri fenomeni, che sono come altrettante copie di questo quadro magnifico che possiamo imitare anco artificialmente, gettando acqua nell'aria in modo che si sparpagli, e stando noi voltati con le spalle al sole. Spesso ancora si scorgono questi colori in cima a un getto d'acqua; qualche volta questo arco si disegna sull'erba d'una prateria umettata dalla rugiada, e mescola la sue diverse tinte con quelle dei fiori che abbelliscono la verdura.

Dei colori considerati nei corpi.

1133. Dopo aver dimostrato, secondo la teoria di Newton, in che consistano i colori considerati nella luce, e dopo aver conosciuto che la causa delle varie impressioni prodotte sul nostro occhio da ciò che chiamiamo *rosso*, *giallo*, *verde*, ec., consiste nelle diverse qualità inerenti ai raggi, e indicate dai diversi gradi di refrangibilità di cui sono capaci, dobbiamo ora cousiderare i colori nei corpi, di cui queste qualità accompagnano le immagini. La diversità di questi colori deriva in generale dalla disposizione particolare di ciascun corpo per reflettere la luce: e quando questa disposizione è tale che il corpo reflette i raggi di qualunque specie, nello stato di mescolanza in cui quelli arrivano ad esso, questo corpo ci sembra bianco, e quindi, propriamente parlando, il bianco non è già un colore particolare, ma la riunione di tutti i colori.

Se il corpo è disposto in modo da reflettere una data specie particolare di raggi più abbondantemente che gli altri, assorbendone il resto, comparirà del colore relativo a questi medesimi raggi. Così i corpi rossi, celesti, verdi, ec., son quelli che reflettono una gran quantità di raggi rossi, celesti, verdi, ec., che estingnono qualunque altra specie di raggi.

1134. Moltissimi corpi sono capaci di reflettere nel tempo stesso molte specie di raggi, e quindi presentano all'occhio una mescolanza di colori. Può accadere altresì che di due corpi di egual colore, per esempio verdi, uno refletta il verde puro della luce, e l'altro la mescolanza del giallo e del celeste, dalla quale resulterà lo stesso colore. Da questa scelta che varia all'infinito resulta, che varie specie di raggi possono riunirsi in tutte le maniere e in qualunque proporzione; e da ciò nasce quell'immensa varietà di gradazioni, che la natura quasi scherzando ha sparse sulla superficie dei varii corpi.

1135. Quando un corpo assorbisce quasi tutta la luce che viene sopra di lui, comparisce nero, e manda all'occhio sì pochi raggi reflessi, che resta quasi invisibile per se stesso; e la sua presenza egualmente che la sua figura non fanno in noi un'impressione, se non in quanto che interrompono in qualche maniera lo splendore dello spazio circostante.

Ma perchè un corpo refletta una piuttosto che un'altra specie di colori, bisogna che esista in esso qualche causa di una tal preferenza: in che dunque differisce, sotto questo aspetto, un corpo rosso da un corpo giallo o verde o violetto? In varie maniere è stato tentato di sciogliere con diverse ipotesi tali questioni; ma Newton che ha studiato moltissimo questo argomento, ha proseguito a interrogar la natura, e per mezzo di una serie di esperienze, ha ottenuto gli utili resultamenti che ora passiamo ad esporre (*a*).

FENOMENO DEGLI ANELLI COLORATI.

1136. Newton avendo presi due obbiettivi da telescopio, uno pianoconvesso, l'altro un poco convesso da ambedue le parti, pose una faccia di questo sulla superficie piana di quello, e premè in principio leggermente, e poi sempre più le due lenti una contro l'altra. L'effetto di questa graduata pressione fu il far comparire nello strato d'aria contenuta fra le due lenti, diversi circoli colorati, che avevano il punto di contatto per centro comune, e che crescevano in numero al crescere della pressione delle lenti; dimanierachè quello che era comparso l'ultimo circondava sempre il punto di contatto; e sotto una maggior pressione questo medesimo circolo si estendeva in circonferenza, mentre si dileguava in superficie, e veniva così a formare una specie d'anello intorno a un nuovo circolo che nasceva verso il suo mezzo.

Accresciuta la pressione fino a un certo punto, Newton cessò dal premere, ed osservò che nel punto di contatto v'era una macchia nera circondata da più serie di colori, nell'ordine seguente, andando dal centro verso la circonferenza delle due lenti: nella prima serie, celeste, bianco, giallo e rosso; nella seconda, violetto, celeste, verde, giallo e rosso; nella terza, porpora, celeste, verde, giallo e rosso; nella quarta, verde e rosso; nella quinta celeste-verdastro e rosso; nella sesta celeste-verdastro e rosso smorto; nella settima, celeste-verdastro e bianco rossastro. Al di là di queste serie, le tinte delle quali andavano sempre indebolendosi, i colori ricadevano nel bianco.

1137. Newton misurò i diametri delle fasce anulari, formate da

(*a*) *Optice lucis*, lib. II, par. 1, observ. 4, 5, 6, ec.

queste differenti serie, prendendo i punti in cui esse erano più risplendenti, e trovò che i quadrati di questi diametri erano fra loro come i termini della progressione 1, 3, 5, 7, 9, 11, ec., dal che resulta che gl' intervalli fra le due lenti, nei punti corrispondenti, seguono la stessa progressione (*a*).

Conosciuti questi rapporti, bastava conoscere la lunghezza assoluta d' un solo diametro, per conoscere altresì le lunghezze di tutti gli altri, come pure le grossezze della striscia d' aria nei punti in cui si scorgevano i diversi colori. Newton fece una tavola di queste grossezze, dalla quale si vede che il celeste più intenso, per esempio quello della prima serie, vien da una grossezza di 0*poll.*,000024, supponendo il raggio visuale quasi perpendicolare ai due obiettivi.

1138. Avendo egli inoltre misurato i diametri degli anelli nei punti intermedii, nei quali i colori andavano oscurandosi, trovò che i quadrati di essi erano fra loro come i numeri pari 2, 4, 6, 8, 10, 12, ec., e così gl' intervalli fra le lenti, nei punti corrispondenti seguivano una simile progressione.

1139. I diametri degli anelli crescevano o scemavano, secondo che il raggio visuale era più o meno inclinato sulla superficie delle due lenti, dimanierachè la contrazione era massima quando l' occhio era situato perpendicolarmente sopra le lenti, e in quanto al resto i diametri conservavano fra loro gli stessi rapporti.

1140. Tali erano i fenomeni presentati dalle lenti vedute per reflessione; ma quando si guardava a traverso per vedere l' effetto della luce refratta, comparivano nuove serie di colori diverse dalle precedenti. La macchia centrale diveniva bianca, e l' ordine dei colori, relativamente alle diverse serie era questo: nella prima, rosso-giallastro, nero, violetto, celeste; nella seconda, bianco, giallo, rosso, violetto, celeste; nella terza, verde, giallo, rosso, verde tendente al celeste; nella quarta, rosso, verde tendente al celeste; nella quinta e nella sesta i due medesimi colori. Paragonando questi colori visti per refrazione, con quelli che derivavano dalla reflessione, si osservava che il bianco corrispondeva al

(*a*) Sia *nam* (*fig.* 66) un diametro preso sulla superficie della lente piana, e *agf* una sezione della sfera alla quale appartiene la parte dell' obiettivo biconvesso voltato verso *an*. Sieno inoltre *ab*, *ad* i semidiametri dei due anelli nei punti in cui i colori sono più vivi. Conducendo *be*, *dg* parallele al diametro *af*, ed *eh*, *gi* parallele ad *an*, avremo per la proprietà del circolo, $eh^2 : gi^2 :: ah \times fh : ai \times if :: ah \times af : ai \times af :: ah : ai :: be : dg$, considerando le linee *hf*, *if* come eguali al diametro *af*, perchè *ah*, *ai*, che misurano gl' intervalli *be*, *dg* fra le lenti, si riguardano come infinitesime relativamente al diametro.

nero, il rosso al celeste, il giallo al violetto, il verde a una mescolanza di rosso, e di violetto; cioè la stessa parte che compariva nera alla semplice vista, diveniva bianca quando si guardava a traverso dell'obbiettivo, e così degli altri colori. Ma le tinte prodotte dalla luce refratta erano deboli e smorte, se pure il raggio visuale non era molto obliquo, nel qual caso esse apparivano forti e vivaci.

1141. Newton avendo sostituito acqua ad aria fra i due obbiettivi, vide subito indebolirsi i colori, e contrarsi gli anelli, cioè un anello d'un dato colore aveva la sua circonferenza più vicina al centro, che quando questo colore era reflesso dalla striscia dell'aria (*a*). I diametri di questi anelli corrispondenti erano fra loro quasi come 7 a 8, e in conseguenza il rapporto dei loro quadrati era di 49 a 64; dal che segue che le densità dei fluidi, nei punti in cui appariscono gli anelli, erano come 3 a 4 in circa, cioè nel rapporto del seno d'incidenza a quello di refrazione, quando la luce passa dall'acqua nell'aria. Newton è di parere che questo resultamento potrebbe estendersi a tutte le specie di mezzi, e quindi se ne potrebbe dedurre questa regola generale: quando un mezzo più o meno denso dell'acqua è contenuto fra due lenti, l'intervallo fra esse, nel punto in cui si scorge questo colore, sta all'intervallo che produce il colore stesso nell'aria, nel rapporto dei seni che misurano la refrazione, nel passaggio da questo mezzo nell'aria medesima. Questa regola potrà applicarsi egualmente a una lastra sottile staccata da un corpo qualunque, di cui volessimo determinare la densità, giudicandone dal tuono del suo colore. Fra poco mostreremo con un esempio l'ordine che deve seguirsi in queste specie di determinazioni.

1142. Newton variò l'esperienza in molte altre maniere: fissò la sua attenzione sui colori delle bolle che si formano in un'acqua saponata, dilatata dall'aria che in essa si introduce soffiando con un tubo (*b*): osservò come esse cambiano, a misura che la pellicola acquosa di cui è formata ciascuna di queste bolle, divien più sottile per lo scolo dell'acqua che scende dalla sua parte superiore; vide altresì che gli anelli composti di questi colori si dilatavano, allontanandosi dal vertice della bolla, quando li guardava più obliquamente, ma che questa dilatazione, in circostanze eguali, era molto minore, che quando i colori erano reflessi dall'aria. Da questa osservazione e da molte altre, concluse, che quando la sostanza colorata era incomparabilmente più densa di quella del mezzo circostante, il cambiamento d'obliquità nella direzione del raggio visuale, non faceva cambiare sensibilmente la situazione

(*a*) *Optice lucis*, lib. II, par. 1, osserv. 10.
(*b*) *Optice lucis*, lib. II, par. 1, osserv. 17.

dei colori; dimanierachè ciascuna parte, vista a qualunque grado d'inclinazione, conservava costantemente il suo colore.

Anelli prodotti da colori solitarii.

1143. In tutte le esperienze che abbiamo citate, le serie dei colori prodotte dalla reflessione o dalla refrazione erano o più o meno diverse fra loro, tanto in numero quanto in combinazione di tinte: ma per mezzo di una nuova esperienza Newton giunse a separare i diversi colori omogenei, per concorrere verso l'effetto totale, e fare in certo modo l'analisi del fenomeno.

Resa oscura una stanza destinata a queste esperienze, si servì di un prisma, a traverso del quale passava un raggio di luce che disegnava lo spettro solare sopra una carta bianca Lo strato d'aria compreso fra le due lenti, reflətteva come uno specchio i raggi respinti da questa carta(*a*). Tenendo egli allora immobile il suo occhio, non scorgeva che un solo colore, il quale giungeva all'occhio stesso per mezzo della reflessione prodotta dalla carta. Ma avendo fatto girare da qualcuno il prisma o da una parte o dall'altra intorno al suo asse, vide comparire successivamente alcune serie diversamente colorate di anelli concentrici, dimanierachè quelli che comparivano insieme erano dello stesso colore. Gli anelli rossi avevano i loro diametri notabilmente maggiori di quelli dei violetti, e Newton dice che provava un grandissimo piacere nel vedere gli anelli passare a vicenda per diversi gradi di dilatazione o di contrazione, a misura che i colori si succedevano. Da tutte queste osservazioni resultava, che il violetto era in generale il colore che dava i più piccoli anelli, e che quindi i diametri crescevano gradatamente nell'ordine in cui comparivano gli altri colori, cioè il celeste, il verde, il giallo e il rosso. Così il primo degli anelli celesti era lontano dal centro un poco più che il primo dei violetti; il primo degli anelli verdi era situato un poco al di là del primo degli anelli celesti, ec.; e lo stesso accadeva dei secondi, dei terzi, ec., presi in differenti serie.

1144. Inoltre lo stesso colore che era reflesso in certi punti dello strato d'aria, era trasmesso negli spazii intermedii. I quadrati dei diametri degli anelli che derivavano dalla reflessione seguente, come nella prima osservazione, erano nel rapporto dei numeri dispari 1, 3, 5, 7, 9, ec.; e i quadrati dei diametri degli anelli prodotti dal colore refratto, erano fra loro come i numeri pari 2, 4, 6, 8, 10, ec: dal che resultava che le densità dello strato d'aria nei punti che reflettevano il colore, erano

(*a*) *Optice lucis*, lib. II, par. 1, observ. 12, 13, 14, ec.

soggette agli stessi rapporti di quelle dei punti in cui accadeva la refrazione.

1145. Queste densità erano state misurate nei punti in cui il colore tanto reflesso quanto refratto era il più vivo; ed era stato trovato che partendo da questi punti, l'intensità della luce andava degradando infinitamente da una parte e dall'altra. Ma Newton, essendosi prefisso di stabilire le larghezze dei diversi anelli, il che non poteva farsi senza fissare egualmente un limite a queste degradazioni, adottò la seguente ipotesi semplicissima.

1146. Figuriamoci che nella serie 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, ec, il termine 2 rappresenti ora la densità dello strato d'aria, nel punto in cui il primo degli anelli violetti visti per reflessione, e relativamente a una stessa situazione del prisma, è il più intensamente colorato, e chiamiamola la *densità media* dell'anello: quella del secondo sarà 6, poichè essa sta a quella del primo come 3 a 1, quella del terzo sarà 10, ec. Per la stessa ragione la densità media del primo anello violetto, visto per refrazione, sarà 4, quella del secondo sarà 8, quella del terzo 12, ec.

Per stabilire ora le densità estreme, o quelle delle due estremità della larghezza di ciascun anello, supponiamo per maggior semplicità, che, relativamente al primo degli anelli violetti visti per reflessione, il più piccolo si rappresenti con 1, e il più grande con 3. Egualmente i due numeri situati uno a sinistra e l'altro a destra di un numero qualunque, che è l'espressione d'una densità media, rappresenteranno le densità estreme dell'anello corrispondente, sicchè ciascuna di queste densità sarà comune a due anelli consecutivi, visti uno per reflessione, l'altro per refrazione Le densità relative agli anelli degli altri colori seguiranno lo stesso rapporto.

1147. L'apparizione di ciascun colore era di breve durata che corrispondeva a un certo moto del prisma, nel tempo del quale si vedevano nascere successivamente varie gradazioni di quel medesimo colore, finchè non apparisse un altro colore con simili successioni. Supponendo uniforme il moto del prisma, i diversi colori giungevano, qual più presto e quale più tardi, al loro ultimo grado di dilatazione, o al massimo aumento del diametro dei loro anelli. La minima dilatazione era quella del color violetto, e la massima quella del color rosso, il che è l'opposto di ciò che si osserva nello spettro solare, in cui il rosso è il colore più ristretto, e il violetto è il più esteso. Newton avendo misurato le densità dello strato d'aria nei punti che presentavano i limiti dei sette colori, relativi a una stessa serie, e avendole prese in questo ordine, rosso, giallo, arancio, verde, celeste, indaco, violetto, trovò

che erano come le radici cubiche dei quadrati dei numeri 1, $\frac{8}{9}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{5}$, $\frac{9}{16}$, $\frac{1}{2}$; o come i numeri 10000, 9243, 8855, 8255, 7631, 7114, 6814, 6300 (*a*); e si noti che la progressione da cui sono stati estratti questi numeri, è quella che rappresenta, come abbiamo veduto (§. 1105), i seni di refrazione dei colori relativi agli stessi limiti, se non che in questi ultimi colori essa va dal violetto al rosso. La luce produce qui sotto una nuova forma il tipo della nostra scala musicale in tuono minore (§. 526).

1148. Intanto, allorchè i due obbiettivi erano esposti alla luce del giorno, i diversi colori che compongono questa luce formavano tutti in una volta i loro anelli alle stesse distanze che quando agivano separatamente nella seconda esperienza; e se queste distanze fossero state tali, che gli anelli dei diversi colori non si potessero sormontare reciprocamente, ciascuna serie avrebbe presentato per ordine altrettanti colori distinti; ma gli anelli avendo più o meno sensibili larghezze, ed essendo più o meno uniti fra loro nello spazio che occupavano, si confondevano almeno in parte in certi punti, lo che accadeva specialmente nella prima serie che conteneva una piccola fascia anulare d'un bianco vivace, prodotto dalla mescolanza di tutti i colori (*b*). In ciascuna delle

(*a*) Questi numeri si riguardano come rappresentanti le densità medie degli anelli, che formano i limiti dei sette colori considerati in una stessa serie, cioè le densità che corrispondono ai punti in cui la reflessione è più forte; e la *fig.* 67, potrà dare un' idea delle loro situazioni relativamente ai colori di cui parliamo. Il numero 6300 indica la densità media dell' anello che dà la prima gradazione del violetto; il numero 6814 indica la densità che corrisponde al punto in cui termina il violetto, e in cui comincia l' indaco, e così di seguito fino al numero 10000, che è la densità media dell'anello situato nel punto in cui termina il rosso.

(*b*) Sia $v\,1\,x\,z$ (*fig.* 68) una sezione della striscia d'aria presa nello spazio a cui corrispondono i colori della prima serie. Sia $v\,2$ la densità media dell'anello che dà la prima gradazione del violetto, e $v\,1$, $v\,3$ sieno le due densità estreme: sia egualmente $V\,2$ la densità media nel punto in cui terminá il violetto, e in cui comincia l'indaco, e $V\,1$, $V\,3$ sieno le densità estreme: sia finalmente $r\,2$ la densità media nel punto in cui comincia il rosso e in cui termina l'arancio, e $r\,1$, $r\,3$, sieno le densità estreme: avremo (*fig.* 67. 68) $v\,2 = 6300$; $V\,2 = 6814$; $r\,2 = 9243$: dunque (*fig.* 68) $v\,1 = \frac{6300}{2}$, $v\,3 = \frac{3}{2}(6300)$, $V\,1 = \frac{6814}{2} = 3407$, e $V\,3 = \frac{3}{2}(6814) = 10221$. Inoltre $r\,1 = \frac{9243}{2} = 4621 + \frac{1}{2}$, e $r\,3 = \frac{3}{2}(9243) = 13864 + \frac{1}{2}$: dunque $r\,1$ è minore di $v\,2$, e $r\,3$ è maggiore di $V\,3$. Dunque la situazione di $r\,1$ essendo alla sinistra di $v\,2$, e quella di $r\,3$ essendo alla destra di $V\,3$, il violetto e il rosso si confondono sullo spazio $v\,2\,3\,V$.

Ora poichè il violetto e il rosso sono i colori estremi della serie, facilmente si comprende, che la minore delle densità estreme della prima grada-

serie seguenti i colori erano in generale più distinti; ma passato un certo termine le serie vicine si sorpassavano reciprocamente; e da ciò derivavano i colori ora semplici o quasi semplici, ora più o meno mescolati o diversamente graduati, presentati successivamente dalle diverse serie. I raggi che si refrangevano negl'intervalli degli anelli formati dalla reflessione dei colori separati si combinavano in una maniera analoga; sicchè un dato grado di tenuità in un punto dato della striscia d'aria, era adattato nel tempo stesso alla reflessione di un dato colore semplice o mescolato, e alla trasmissione di un altro dato colore.

1149. Tutti questi colori divenivano languidi, e sparivano affatto a una certa distanza dal centro, perchè i differenti raggi, mescolandosi quasi in proporzioni eguali, non producevano più che una luce biancastra.

Diverse sostanze capaci di presentare Anelli colorati.

1150. Non è necessario che la striscia la quale presenta gli anelli colorati sia d'una materia fluida, poichè anco una striscia di corpo solido ha la stessa proprietà, purchè sia ridotta ad un certo grado di sottigliezza. Una lastra di mica, per esempio, può assottigliarsi a segno da divenir capace di reflettere uno o più di quei colori osservati nella prima esperienza di Newton in uno strato d'aria; ed è da notarsi che questi colori non dipendono, in quanto alla loro specie, dalla natura del mezzo circostante: infatti se si inumidisca la lastra di mica, essi diverranno solamente più deboli che quando la lastra era circondata d'aria, e cambieranno soltanto in intensità.

1151. Questa osservazione ci conduce a parlare di alcune esperienze fatte da Mazéas, i resultamenti delle quali sembra che non si accordino

zione di qualunque colore intermedio, come il verde, essendo minore di r 1 e maggiore di V 1, sarà situata fra queste due linee, mentre la maggiore delle densità estreme dell'ultima gradazione dello stesso colore essendo maggiore di V 3, sarà situata a destra di questa linea, dal che si concluderà che tutti i colori devon confondersi sullo spazio v a 3 V, e con la lor mescolanza produrvi un color bianco.

Con un ragionamento simile si proverà che non può accadere lo stesso nelle altre serie, nelle quali esiste una parte soltanto dei colori relativi a ciascuno di quelli che sono mescolati. Newton ha immaginato una costruziona ingegnosa, con la quale rende sensibile all'occhio la maniera con cui i diversi colori omogenei si sprigionano l'uno dall'altro in certi punti dello strato d'aria, e in altri punti si associano molti insieme, e ivi producono colori composti. *Optice lucis*, lib. II, p. 2, verso il principio.

con la spiegazione del fenomeno degli anelli colorati data da Newton (*a*). In queste esperienze si osserva il fenomeno anco per mezzo di due lenti soprapposte l'una all'altra, messe sotto il recipiente di una macchina pneumatica privato d'aria, o esposte ad un calore sì forte che basti ad escludere l'aria stessa dallo spazio intermedio. Si può rispondere che nel primo caso non si ottiene mai un voto perfetto, e che nel secondo, supponendo possibile la cosa, lo spazio compreso fra le due lenti è occupato per lo meno dal calorico; e in generale, una materia qualunque, per rara che sia, contenuta fra le due lenti, basta per produrre alcuni anelli di colori diversi: e se questo spazio fosse assolutamente voto di qualunque materia, forse accaderebbero ancora le reflessioni e le refrazioni dei raggi che producono questi anelli, sicchè essi dipenderebbero dalle sole distanze fra i punti corrispondenti delle due superficie, per le quali le lenti son voltate una verso l'altra.

1152. Newton chiama *accessi* o *ritorni di facile reflessione*, le disposizioni successive d'uno stesso raggio ad esser reflesso da diverse densità d'una striscia d'aria o di qualunque altra sostanza; e *accessi* o *ritorni di facile trasmissione*, le disposizioni di questo raggio ad esser trasmesso dalle densità intermedie. Così un raggio è in uno dei suoi ritorni di facile reflessione, quando cade sopra una lastra di qualche sostanza, la densità della quale è rappresentata da uno dei termini della serie 1, 3, 5, 7, 9, ec., prendendo per unità la minor densità che sia capace di reflettere questo raggio; e parimente è in uno dei suoi accessi di facile trasmissione, quando la densità della lastra che lo riceve è uno dei termini della serie 2, 4, 6, 8, ec. (*b*).

Applicazione dei resultamenti precedenti ai colori dei corpi opachi.

1153. Vediamo ora le conseguenze che dedusse Newton da queste osservazioni, relativamente alla colorazione dei corpi Le particelle di questi corpi, non eccettuati quelli che chiamiamo opachi, sono realmente trasparenti, come facilmente ognuno può scorgere col microscopio. Gli orli assottigliati della più opaca pietra focaia posta fra l'occhio e la luce, compariranno alquanto trasparenti; e in quanto alle sostanze metalliche bianche, che a prima vista sembrerebbero doversi

(*a*) Memorie dell'Accad. di Berlino, 1752. Vedasi ancora l'Ottica di Smith, nota 493. e seg.

(*b*) *Optice lucis*, *lib.* II, *pars* 3, *propos.* 13, definizione.

eccettuare, Newton ha osservato che l'azione d'un acido può assottigliarle a segno da renderle permeabili alla luce (*a*).

1154. In ciascun corpo le particelle son separate fra loro da piccoli interstizii che si chiamano *pori*, e che contengono varii fluidi sottili. Queste particelle essendo di una determinata densità, respingono i raggi che penetrando in esse si trovano in un ritorno di facile reflessione, e il corpo prende così un colore o semplice o composto, analogo a quello dei raggi reflessi, e che dipende dal grado di sottigliezza delle particelle.

1155. Abbiamo veduto (§. 1150) che gli anelli colorati si formano ancora nelle lastre dei corpi solidi, egualmente che in quelle dei liquidi o dei fluidi; e poichè ciascun piccolo spazio compreso in una di queste lastre reflette o refrange la luce, ne segue che dividendo questa lastra in tanti piccoli frammenti, ciascuno di questi produrrebbe anco solo gli stessi effetti che produceva quando faceva parte del tutto. E poichè le particelle di un corpo possono assomigliarsi ai frammenti separati di una lastra, tutto ciò che si dice di questa lastra, si applica esattamente ancora alle particelle.

1156. Parlando delle particelle dei corpi non intendiamo già di parlare delle più piccole molecole, o di quelle che chiamiamo *molecole integranti*. Per comprendere ciò che debba intendersi per particelle che reflettono la luce, si può supporre con Newton che le molecole integranti già separate l'une dall'altre dai pori, nel riunirsi in un certo numero formino altre molecole di secondo ordine, separate da pori più estesi; che queste pure compongono altre molecole di terzo ordine, con interstizii sempre maggiori, e così di seguito (*b*). Ora, le particelle che reflettono la luce nello stato ordinario d'un corpo, sono di una certa densità, dal che resultano separazioni fra loro di una certa estensione; e in tal caso queste particelle si riguardano come isolate, relativamente alle particelle vicine. I mezzi che le intercettano, cioè i fluidi sottili che occupano i loro pori, e l'aria che circonda la loro superficie esterna, fanno le veci delle due lenti fra le quali è contenuta la striscia d'aria nell'esperienza di Newton: per esempio, in una lastra di mica di una grossezza un poco sensibile, esistono alcune particelle d'un certo ordine, che hanno la proprietà di reflettere i raggi d'un bianco giallastro, e son quelle appunto che si trovano naturalmente a tali distanze fra loro, che la luce può agire sopra esse come se fossero sole. Se riduciamo questa

(*a*) *Optice lucis, lib.* II, *propos.* 2.
(*b*) *Optice lucis, lib.* III, *quaest.* 31.

lastra in piccole foglie fino a un certo grado di sottigliezza, verremo a rendere isolate alcune particelle d'un altro ordine, che rifletteranno altri colori, come vien confermato dall'osservazione.

1157. Nell'articolo della divisibilità (§. 27) parlammo d'una lastra staccata da un pezzetto di mica tanto sottile, che il bianco giallastro, il quale era il suo color primitivo, era cambiato nel celeste più intenso; e ora siamo in stato di comprendere in qual modo possiamo servirci delle proprietà della luce, per scorgere quelle piccole quantità che sfuggono ai nostri mezzi meccanici anco i più precisi. Secondo Newton la densità dello strato d'aria nel punto che riflette il celeste puro nel fenomeno degli anelli colorati, è eguale a 2, 4 milionesimi di pollice inglese. Ora, secondo il principio enunciato di sopra (§. 1141), la grossezza della lastra suddetta di mica doveva stare a quella dello strato d'aria nel punto che presenta il celeste puro, come il seno d'incidenza sta al seno di refrazione, quando la luce passa dal mica nell'aria: ma poichè il mica non è adattato alle esperienze, dalle quali si dedurrebbe immediatamente la legge della sua refrazione, per conoscerla è stato tratto partito dall'altra osservazione di Newton, cioè che i poteri refrangenti delle sostanze sono quasi proporzionali alle loro densità (§. 1067), purchè queste sostanze sieno ambedue infiammabili o non infiammabili.

1158. Ciò premesso, sia cr (*fig.* 69) un raggio di luce che incontri la superficie di un pezzo di mica, a un angolo piccolissimo, e sia rg il raggio refratto, di cui si determinerebbe la direzione, se il mica fosse nel tempo stesso tanto denso e tanto trasparente, da render possibile questa determinazione. Sia, nella medesima ipotesi, rg' il raggio refratto relativamente ad un'altra sostanza, di cui sia noto il potere refrangente, e che servirà di termine di comparazione. Per tale effetto abbiamo scelto il solfato di calce, il quale secondo Newton ha tal potere refrangente, che se si indichi con rn la quantità costante, sarà $(g'n)^2 = 1{,}123$.

Ora la densità del mica, determinata dalla sua gravità specifica, sta a quella del solfato di calce, come 2,792 : 2,252: dunque avremo $(g'n)^2$ ossia 1,213 : $(gn)^2$: : 2,252 : 2,792. Operando per mezzo di logaritmi si troverà il logaritmo di gn, 0,0886039, dal che si concluderà che l'angolo di refrazione rgn è di 39° 11'; e perchè in questo caso l'angolo d'incidenza è retto, il rapporto fra i seni, quando la luce passa dal mica nell'aria, sarà quello del seno di 39° 11' al seno totale. Ma questo rapporto essendo eguale a quello che passa fra la densità dello strato d'aria, indicato con 2,4 milionesimi di pollice, e quella della lastra di mica, che riflette il celeste puro, si troverà per questa 1,511

milionesimi di pollice inglese, o 1,6 milionesimi di pollice francese incirca (*a*). cioè quasi 43 milionesimi di millimetro.

1159. La disposizione d'un raggio ad esser reflesso o refratto da una data particella d'un corpo, dipende nel tempo stesso dalle due superficie di questa particella, poichè, che il raggio sia reflesso in vece d'esser refratto, o reciprocamente, dipende soltanto da una maggiore o minor distanza fra le due superficie. Da ciò deriva, che bagnando una faccia d'una sottilissima lastra di qualche sostanza, come il mica, i colori subito si indeboliscono; dal che si deve concludere che la reflessione o la refrazione accade vicino alla seconda superficie, poichè se accadesse vicino alla prima, o prima che il raggio fosse penetrato nella particella, la seconda non avrebbe alcuna influenza sulla reflessione o sulla refrazione di questo raggio. Inoltre la sopraddetta disposizione si propaga e persiste nel raggio dalla prima superficie fino alla seconda, altrimenti quando il raggio è arrivato a questa seconda superficie, la prima non avrebbe più veruna parte nell'azione per cui esso vien reflesso o refratto (*b*).

1160. Il colore di un corpo è tanto più vivace e più puro, in parità di circostanze, per parte dei mezzi in cui esso si trova, quanto le molecole di esso sono più sottili; come pure nello strato d'aria dell'esperienza di Newton, le parti più sottili o più vicine al centro, son quelle in cui i colori compariscono con più forza e splendore. Inoltre fra le molecole che reflettono colori di un solo ordine, quelle che presentano il rosso sono le più dense, e quelle che presentano il violetto sono le più sottili.

Cagione dei reflessi a più colori che si osservano in alcuni minerali.

1161. La natura ci mostra in moltissime pietre un fenomeno analogo a quello degli anelli colorati: fra queste è l'agata opalina, o l'opale, che nei reflessi che essa manda dal suo interno sembra riunire le tinte del rubino, del topazio, dello smeraldo e del safiro, e tutte tinte vivacissime. Causa della bellezza di questa pietra sono le sue stesse imperfezioni, e le tante fessure e screpolature che interrompono la continuità della sua materia propria, e formano varii voti occupati da un fluido sottile che probabilmente è l'aria. I piccoli strati di questo fluido fanno qui le veci dello strato d'aria contenuta fra i due obbiettivi nell'esperienza

(*a*) Secondo l'Enciclopedia metodica, Matematiche, t. II, par. 2, p. 580, il piede inglese equivale a 11 pollici e $4\frac{1}{2}$ linee, ossia $\frac{173}{2}$ linee di piede francese.

(*b*) *Optice lucis lib.* II, *par.* 3. *propos.* 12.

di Newton; e quindi i bei colori dell'opale spariscono se essa venga spezzata.

Nell'interno del carbonato di calce trasparente, del solfato di calce, del cristallo di monte, ec. si osservano parimente varii reflessi diversamente colorati, che debbon pure attribuirsi ad alcune piccole fessure della pietra o naturali o prodotte dalla percossa.

Spiegazione dei colori cangianti di alcuni corpi.

1162. Le molecole dei corpi sono in generale molto più dense dei mezzi che occupano gl'interstizii fra le loro lastre componenti, e dell'aria che circonda questi corpi: quindi i colori dei corpi stessi, veduti a diversi gradi d'obliquità, non cambiano sensibilmente; ma supponendo che le lastre non sieno di una densità maggiore dei mezzi circostanti, in tal caso il minimo cambiamento nella loro situazione, relativamente all'occhio, farà variare i loro colori (*a*).

Per trovar la ragione di questa differenza, supponiamo che *a b l k* (*fig.* 70.) rappresenti la sezione di una lastra di qualche sostanza, incomparabilmente più densa del mezzo che circonda questa lastra: in tal caso un raggio di luce *r c* che incontrerà la superficie di questa lastra ad un grado qualunque di obliquità, si refrangerà nell'interno in una direzione *c i*, che si allontanerà pochissimo dalla perpendicolare *un* nel punto d'immersione, a motivo della gran differenza fra il seno d'incidenza e quello di refrazione. Se un altro raggio incidente *r' c* incontri la stessa superficie ad un'obliquità molto diversa, il raggio refratto *co* non si allontanerà molto più dalla perpendicolare *u n*, e in conseguenza gli spazii fra *a b* e *k l*, misurati dai due raggi refratti, differiranno pochissimo fra loro: dal che segue che il colore il quale dipende da questi spazii non soffrirà se non un leggerissimo cambiamento. Che se al contrario la densità della lastra *ablk* sia quasi eguale a quella del mezzo circostante, i raggi incidenti *d g*, *s g* non soffriranno che una leggiera inflessione nel passare a traverso della lastra; sicchè i raggi refratti *gp*, *g m* essendo quasi sulla direzione dei raggi incidenti, ne resulterà una gran differenza fra gli spazii misurati da questi raggi, e nel tempo stesso fra i colori relativi a questi spazii.

1163. Ciò può servire per far comprendere in qual modo alcuni corpi cambino di colore per l'occhio, secondo la diversa situazione di esso, come le piume di alcuni uccelli, e specialmente la coda del pavone. Questi colori tanto ricchi e tanto variati per se stessi, appariscono ancora

(*a*) *Optice lucis, lib.* II, *pars* 3, *propos.* 6.

più varii muovendosi con l'uccello stesso, ciascuna situazione del quale produce nuovi reflessi, che spariscono per dar luogo ad altri, e così di seguito, a misura che l'uccello si muove. E accadono tutte queste belle apparenze, perchè le barbe che si inseriscono lateralmente nei rami delle penne dell'uccello, sono di una tal sottigliezza che ravviva moltissimo i colori, e nel tempo stesso di una tal densità, che essendo poco diversa da quella del mezzo che le circonda, fa variare la situazione dei colori al variare dell'obliquità del raggio visuale (*a*).

1164. Questo effetto si osserva ancora nell'esperienza degli anelli colorati (§. 1136), quantunque in quel caso lo strato d'aria interposto fra le due lenti sia incomparabilmente meno denso della materia delle lenti stesse; ma però la luce nel passare dalla lente nell'aria, allontanandosi notabilmente dalla perpendicolare, prende tali situazioni che cambiano sensibilmente in obliquità, a misura che più o meno si inclina la direzione stessa del raggio visuale, il che fa variare in proporzione le densità misurate dai raggi refratti. Questo effetto è l'opposto di quello rappresentato dalla *fig.* 70, in cui si considerano *rc*, *r'c* come i raggi incidenti, e *co*, *ci* come i raggi refratti. È chiaro infatti, che se al contrario si supponga che queste ultime linee sieno i raggi incidenti, una variazione alquanto sensibile nelle loro direzioni ne produrrà una grandissima in quella dei raggi refratti *cr*, *cr'*.

1165. Per mezzo degli esposti principii si comprende facilmente in qual modo un liquido, che per se stesso non presentava verun colore sensibile, comparisca colorato nel venir mescolato con altro liquido, o cambi colore se era colorato: così l'acido nitrico, versato nell'alcool, in cui sieno state in infusione foglie di rose, in modo però che l'alcool non ne sia rimasto colorato, sviluppa a un tratto un colore simile a quello che avevano le foglie di rosa prima dell'infusione: lo stesso acido, mescolato con la tintura di tornasole cambia il celeste in un rosso vivo: il siroppo di violette, mescolato con un alcali, divien verde: ec. In tutte queste mescolanze, la riunione delle molecole dei due liquidi forma molecole mescolate di una densità diversa da quella delle molecole componenti, e da ciò nasce la reflessione del colore analogo a questa densità

Applicazione della stessa teoria ai corpi trasparenti non colorati.

1166. Consideriamo ora gli accessi di facile reflessione e di facile trasmissione nei corpi trasparenti, e cominciamo da quelli che sono

(*a*) *Optice lucis*, *lib.* II, *pars* 3. *propos.* 5.

limpidi e senza colore. Le particelle di questi corpi sono di una sottigliezza minore della minima densità che sia capace di refletter la luce, e però i raggi che penetrano nelle molecole situate sulla superficie son trasmessi; poichè queste particelle sono nel caso stesso in cui si trovava il piccolo strato d'aria situato presso al contatto dei due obbiettivi nell'esperienza degli anelli colorati, e che trasmetteva tutti i colori senza reflетterne alcuno. Dunque i raggi che son penetrati in un mezzo limpido, proseguono il loro corso in tutta la grossezza del mezzo stesso, senza che alcuno se ne rifletta in vicinanza del contatto delle molecole con i mezzi sottili contenuti nei pori, come se queste molecole fossero perfettamente continue fra loro. In tutto questo corso i raggi conservano la loro disposizione ad esser reflessi o refratti, in virtù degli accessi di facile reflessione o di facile trasmissione, dimanierachè se si chiami e una certa densità che avrebbe prodotta la reflessione di una data specie di raggi, supponendo che il mezzo non fosse che di questa densità, il raggio stesso conserverà una tendenza ad esser reflesso in tutti i punti, le distanze dei quali dalla prima superficie sono rappresentate da $3e$, $5e$, $7e$, ec., e sarà disposto ad esser trasmesso alle distanze $2e$, $4e$, $6e$, ec. Se del pari si chiami e una certa densità analoga alla reflessione d'un'altra specie di raggi, supponendo che il mezzo sia di questa densità, il raggio sarà disposto ad esser reflesso o trasmesso a distanze rappresentate, le une da $3e'$, $5e'$, $7e'$, ec., le altre da $2e'$, $4e'$, $6e'$, $8e'$, ec. Queste distanze son ciò che Newton chiama *intervalli di facile reflessione, o di facile trasmissione* (a).

1167. L'una e l'altra tendenza non hanno il loro effetto, se non quando la luce è giunta alla seconda superficie del corpo. Ivi tutta la porzione della luce, che a motivo della distanza fra le due superficie o della serie d'intervalli, si trova in un accesso di facile reflessione, è reflessa in vicinanza del contatto della seconda superficie col mezzo adiacente; e la porzione che si trova in un accesso di facile trasmissione, si refrange passando nel mezzo adiacente, dimanierachè se il mezzo avesse una densità diversa, che per ciascun accesso dasse una unità di più o di meno, i raggi cambierebbero azione, cioè quelli che fossero stati nel loro accesso di facile reflessione, si troverebbero nel loro accesso di facile trasmissione, e reciprocamente.

È questa la ragione per cui v'è sempre una porzione della luce che si reflette a contatto dei due mezzi di densità diversa, senza refrangersi come fa l'altra porzione (§. 1046).

1168. Parlando degli accessi non abbiamo considerato fin qui se

(a) *Optice lucis, lib. II, pars 3, prop. 12.*

non ciò che accade nel trasporto dei raggi dalla prima superficie fino alla seconda; ma la reflessione riconduce una parte dei raggi dalla seconda superficie alla prima, e si cerca qual sarà la loro disposizione in questo ritorno, e in qual accesso essi si troveranno su questa prima superficie.

Per sviluppare questo punto di teoria, riprendiamo le cose dall'origine, e supponiamo che *ab*,*cd* (*fig.* 71) sieno due facce esattamente parallele di un mezzo qualunque più denso dell'aria, e circondato da essa. Sia *gn* un fascio di luce che cada sulla superficie *ab*: fra i raggi che compongono questo fascio, alcuni saranno in un accesso di facile reflessione, e in conseguenza si refletteranno nella direzione *nx*, inclinata in parte contraria precisamente quanto *gn*; e gli altri essendo in un accesso di facile trasmissione si refrangeranno nella direzione *no*.

Ambedue gli accessi saranno determinati dalla specie d'intervalli che ciascun raggio avrà percorso nell'aria; dimanierachè se il punto raggiante è in mezzo a questo medesimo fluido, saranno reflessi tutti quei raggi, in riguardo dei quali il trasporto da questo punto fin al punto *n* sarà compreso nella serie 1, 3, 5, 7. ec., e l'unità rappresenta in questo caso la minima densità d'aria la quale possa reflettere ciascun raggio; e tutti quei raggi in riguardo dei quali lo stesso trasporto sarà compreso nella serie 2, 4, 6, 8, ec., saranno trasmessi nella direzione *no*.

Questi ultimi raggi trovandosi allora in un mezzo diverso, in cui gl'intervalli non son più gli stessi, gli uni arrivando nel punto o, saranno di nuovo in un accesso di facile reflessione, e saranno respinti per *or*, essendo l'angolo *roc* eguale all'angolo *nod*; gli altri saranno in un accesso di facile trasmissione e passeranno nuovamente nell'aria in una direzione *oz* parallela a *gn*.

1169. Ma poichè noi supponiamo un parallelismo perfetto fra le linee *ab*, *cd*, ne resulta che i raggi reflessi nella direzione *or*, percorrono uno spazio eguale a quello che avevano percorso nella direzione *no*. Intanto gl'intervalli di facile reflessione misurati dal raggio che percorreva la linea *no*, ossia le distanze alle quali esso si è successivamente trovato, relativamente al punto *n*, al fine di ciascun intervallo, son compresi nella progressione dei numeri dispari 1, 3, 5, 7, 9, ec. Ma il raggio, dopo la sua reflessione nella direzione *or*, conserva la disposizione che avrebbe seguita in linea retta, se il mezzo fosse stato prolungato sotto *cd*; dunque quando è giunto per esempio in *t*, la sua distanza dal punto *n* deve considerarsi come eguale alla somma delle linee *on*+*ot*. Chiamiamo E l'intervallo o la distanza misurata da *on*: le distanze seguenti o quelle che corrispondono alla linea *or*, saranno rappresentate

da E+2 , E+4 , E+6 , ec. Dunque la progressione o , 2 , 4 , 6 , ec., che si riguarda come un'estensione di quella dalla quale è resultato E, rappresenterà gl' intervalli di facile reflessione , cominciando dal punto o; dal che segue che la progressione dei numeri intermedii 1 , 3 , 5 , 7, ec., diverrà quella degli accessi di facile trasmissione , cominciando dal medesimo punto, il che è l'ordine inverso di quello degli accessi compresi fra *n* e *o*. Dunque poichè *or* è eguale ad *no*, il raggio arrivato in *r* si troverà in un caso contrario a quello in cui era nel punto *o*, cioè sarà trasmesso dalla superficie *ab*.

Se in vece di prendere una nuova serie dopo la reflessione in *o*, si considerino le due linee *no* , *or* , come formanti una sola linea , la quantità 2E misurata da questa linea essendo un numero pari , i termini dell'unica serie alla quale essa apparterrà, saranno o , 2, 4 . 6 , 8 , ec.; dimanierachè considerando le cose in questo aspetto , si intenderà ancora che il raggio deve refrangersi in *r*.

Concludiamo da tutto questo, che i raggi i quali sono reflessi sulla seconda superficie di un mezzo , nel ritornare alla prima superficie, soffrono effetti contrarii a quelli che soffrivano nel passare dalla prima superficie alla seconda; sicchè dopo la reflessione gli accessi di facile trasmissione succedono a quelli di facile reflessione (*a*).

Ma se le due facce fra le quali si muove la luce non fossero esattamente parallele , o se fossero sensibilmente diseguali , in tal caso fra i raggi reflessi nella direzione *or*, quelli che per tornare alla superficie *ab* dovessero percorrere un intervallo maggiore o minore dell'unità , sarebbero nuovamente reflessi verso *cd*, mentre gli altri sarebbero trasmessi dalla superficie *ab*.

1170. Da quanto abbiamo detto, il P. Boscovich dedusse la soluzione di una difficoltà, proposta da lui stesso contro la spiegazione dell'arcobaleno esterno (*b*), che è la seguente. Sia *ng* (*fig.* 72) una delle gocce di pioggia che producono questo arco , e *sghfna* la strada che percorre un fascio di raggi di un colore qualunque , preso fra i raggi efficaci: di questo fascio, dopo che è arrivato da *h* in *g*, una porzione vien trasmessa nell'aria circostante , e l'altra si reflette nella direzione *gf*. Ma i raggi che sono entrati per il punto *h* erano in un accesso di facile trasmissione , e quelli che si sono reflessi in *g* erano in un accesso di facile reflessione. Intanto la corda *gf* essendo eguale alla corda *hg* , misura la medesima serie d'intervalli ; e poichè i raggi che partono dalla reflessione in *g* per andare in *f*, soffrono effetti opposti a quelli che soffrirebbero

(*a*) *Optice lucis lib.* II , *pars* 3 , *prop.* 19.
(*b*) *Mémoires des Savans étrangers* , t. III.

partendo dalla reflessione in h, ne segue che essi dovrebbero trovarsi in f in un accesso di facile trasmissione, e però nessun raggio dovrebbe esser reflesso da f in n, ma tutti escirebbero per questo punto, il che renderebbe impossibile la formazione dell' arco esterno.

Il P. Boscovich risponde osservando che la difficoltà non ha luogo, se non supponendo le gocce di pioggia perfettamente sferiche, lo che non può presumersi, se non per altro, perchè ciascuna goccia è alquanto compressa nella sua parte inferiore dalla reazione dell' aria urtata da essa nel cadere. Ma la più piccola differenza fra le corde hg, gf basta perchè vi sia da una parte una unità di più o di meno che dall' altra negl' intervalli misurati da queste corde, e perchè il raggio arrivato in f si trovi di nuovo in un accesso di facile reflessione; nel qual caso prenderà la direzione fn, e potrà trovarsi in n in un' accesso di facile trasmissione, che l' obbligherà a passar di nuovo nell' aria nella direzione na.

1171. La luce che passa a traverso di un mezzo trasparente, non arriva tutta alla superficie di esso, perchè vi son sempre alcuni raggi intercettati dal mezzo stesso, nel quale si estinguono urtando contro le proprie molecole di esso; e il numero di questi raggi intercettati cresce continuamente per tutto il corso del raggio.

Quindi è che l' intensità della luce sopra un dato spazio, a misura che essa si allontana dal punto raggiante, non è esattamente in ragione inversa del quadrato della distanza, ma segue una legge che differisce da questa fino ad un certo punto.

Bouguer ha cercato questa legge, supponendo primieramente che il mezzo fosse di densità uniforme, e che i raggi fossero paralleli; nel qual caso egli prova che l' intensità della luce segue una progressione geometrica. Quindi estende la sua teoria ai mezzi di densità variabile, e all' ipotesi di una divergenza fra i raggi, e fa molte importanti applicazioni di questa teoria a varii fenomeni (*a*).

Cagione dell' opacità d' un gran numero di corpi.

1172. I corpi opachi son tali non solo perchè le loro molecole estinguono ed assorbiscono la luce, ma più ancora perchè queste molecole si trovano separate da molti interstizii pieni di qualche fluido meno denso di essi, e quindi molti raggi sono respinti presso il contatto delle superficie delle molecole col mezzo adiacente: e poichè queste reflessioni si moltiplicano rapidamente a misura che i raggi penetrano nei corpi,

(*a*) Bouguer, *Traité d'Optique*. Parigi, 1760, p. 231 e seg.

accade che presto sfuggono alla refrazione che dovrebbe propagarsi da una superficie all' altra, perchè il corpo fosse trasparente (*a*).

1173. Per mezzo di questa osservazione possiamo spiegare perchè la pietra chiamata *idrofana* acquista una trasparenza sensibile, quando è stata immersa nell' acqua, come apparisce mettendola fra la luce e l' occhio. Vedemmo già (§ 9) che questa pietra è sparsa di moltissime piccole cavità, che nello stato naturale dell' idrofana son piene d' aria. La poca densità di questo fluido, paragonata alla materia propria della pietra, produce la reflessione di una gran parte dei raggi che penetrano in essa, e non lascia sussistere che un debol grado di trasparenza, per mezzo del piccolo numero di raggi che seguono il loro corso fino alla superficie voltata dalla parte dell' occhio. Ma se le cavità dell' idrofana sieno piene d' acqua in vece d' aria, il liquido essendo di una densità meno dissimile da quella della pietra, vi sarà un gran numero di raggi, che in vece d' esser reflessi nel contatto dei due mezzi che si succedono nell' intervallo fra le due superficie, saranno refratti, e proseguiranno il loro corso fino alla superficie situata verso l' occhio, dal che nascerà un grandissimo aumento di trasparenza. La carta bagnata o inzuppata d' olio acquista essa pure un certo grado di trasparenza per una ragione simile.

1174. In quanto ai corpi che oltre essere trasparenti hanno un colore determinato, sembra che essi presentino come un termine medio fra i corpi limpidi e i corpi opachi: le loro molecole reflettono raggi di quel colore con cui appariscono all' occhio, e nel tempo stesso questi corpi trasmettono in tutta la loro estensione altri raggi, che ordinariamente hanno lo stesso colore dei raggi reflessi. Così le molecole situate sulla superficie reflettono una porzione dei raggi che arrivano a questa superficie medesima, e lasciano passare gli altri; altre molecole situate un poco più in basso reflettono un certo numero di quei raggi che sono sfuggiti alla prima reflessione, quindi trasmettono gli altri, e così di seguito fino all' ultima superficie, la quale reflette in parte i raggi che riceve, e in parte li trasmette nell' aria vicina.

1175. Quanto più il corpo colorato è trasparente, tanto è minore il numero dei raggi reflessi nel suo interno, e nel tempo stesso apparisce tanto più debole il colore, quando si guarda il corpo per reflessione. Il qual colore diviene all'opposto tanto più vivace quando si pone il corpo fra la luce e l' occhio, perchè il numero dei raggi che penetrano in esso da parte a parte, essendo per così dire in ragione inversa di quello dei

(*a*) *Optice lucis*, *lib.* II, *par.* 3, *propos.* 3.

raggi respinti dalla reflessione, l' occhio riceve una gran quantità di colore trasmesso, che gli porta l' impressione del colore del corpo.

Quanto è in maggior quantità il principio colorante, tanto è più intenso il colore del corpo visto per reflessione, e tanto più nel tempo stesso scema la trasparenza, dimanierache v' è un termine in cui l' effetto principale del colore dipende da quello che è reflesso accanto alla superficie voltata verso l' occhio, e allora il corpo posto fra l' organo e la luce non ha più che un debole grado di trasparenza.

Varii esempii d' un fenomeno analogo a quello degli anelli colorati.

1176. Esistono alcuni mezzi che presentano un color diverso, secondo che si guardano per reflessione o per refrazione, come accade relativamente a ciascuno dei piccoli spazii presi sullo strato d' aria nell' esperienza degli anelli colorati: tale è l' infusione di legno nefritico, che visto nel suo aspetto ordinario apparisce celeste, e che divien giallo quando si pone fra l' occhio e la luce il vaso che lo contiene: così pure una lastra d' oro sottilissima reflette sempre il giallo, ma comparisce verdastra quando si guarda per refrazione. Questi fenomeni ed altri simili, secondo l' espressione di Newton, *non hanno più bisogno di un Edippo* (*a*).

1177. Da ciò si vede quanto l' osservazione degli anelli colorati serve a collegare fatti diversi in una medesima teoria; ma sarebbe desiderabile che questa teoria stessa si estendesse ancora a spiegare, per mezzo di qualche ipotesi, perchè certi raggi sono trasmessi, mentre altri sono reflessi da una lastra di una data densità. Potremo supporre con Newton, (*b*) che accada dei raggi della luce, relativamente a diversi corpi naturali, ciò che accade dei corpi sonori relativamente all' aria, cioè che i raggi eccitino nelle molecole dei corpi che li refrangono o li reflettono, certe vibrazioni che si propagano da una superficie all' altra, ma in modo che la loro velocità è maggiore di quella dei raggi stessi, sicchè esse li precedono. Ma poichè queste vibrazioni consistono in certi piccoli moti alternativi in parte contraria, se nel momento in cui il raggio arriva vicino al contatto della superficie reflettente o refrangente, il moto di vibrazione in cui esso si trova cospiri con quello del corpo, il raggio sarà trasmesso; e se questo moto è opposto a quello del corpo,

(*a*) *Newtonis Opusc.* t. II, p. 290.
(*b*) *Optice lucis, lib.* II, *pars* 3, *prop.* 12. *Ibid. lib.* III, *quaest.* 17.

il raggio sarà respinto e reflesso (*a*); ed è tale la maniera con cui si combinano i moti, che il raggio si trova in circostanze da produrre ora la reflessione, ora la refrazione. Del resto Newton propone quest' idea soltanto per coloro che cercano di soddisfare se stessi, immaginando una causa fisica dei fatti da cui nasce la teoria; ma si contenta di stabilirne l'esistenza e la derivazione. I fisici che giudiziosamente si fermano sulla strada indicata dall' osservazione, troveranno di che soddisfarsi in una teoria, secondo la quale i fenomeni infinitamente variati della colorazione dei corpi, dipendono dalle semplici distanze fra le faccette delle molecole, e per mezzo della quale si spiega l'ammirabile varietà di tinte e di gradazioni che abbelliscono le produzioni della natura e dell'arte, sotto l'aspetto di un quadro, la tela del quale basta che diventi più sottile per far nascere nel momento un nuovo colorito.

Difficoltà che possono opporsi alla teoria precedente.

Abbiamo veduto che la causa a cui Newton attribuisce la colorazione dei diversi corpi, non ha veruna relazione diretta con la loro natura chimica, e dipende principalmente dalla dimensione in grossezza delle loro molecole, unita alla densità di esse, che è una proprietà fisica. I principii costituenti non hanno in questo che un' influenza lontanissima, in quanto che la densità e la figura delle molecole dipendono dalle qualità di questi principii, dalle loro quantità relative, e dalla maniera con cui son combinati fra loro. Ma dacchè la chimica ha fatti sì rapidi progressi, che hanno tanto influito sulla fisica stessa, molti dotti che hanno tanto contribuito a perfezionarla, hanno creduto che i colori dei corpi naturali dipendessero immediatamente dall'affinità, che le loro molecole esercitano a preferenza su certe specie di raggi; e nessuno ha rischiarata questa opinione con più senno e con più profondità di Berthollet (*b*).

1178. Prima di indicare i motivi di questa opinione, osserveremo che

(*a*) Quest' ipotesi è diversissima da quella dei fisici, che facevan consistere la diversità dei colori in quella delle vibrazioni impresse alla luce dalle superficie reflettenti, per mezzo della quale volevano spiegare in qual modo i raggi della luce, che supponevano omogenei, fossero reflessi in maniera da produrre piuttosto una che un'altra sensazione di colore. Ma l'ipotesi di Newton consiste nel far vedere in qual modo fra i raggi eterogenei della luce una specie è trasmessa, mentre l'altra è reflessa.

(*b*) *Traité sur la Teinture*, t. I, p. 31 e seg.

Newton stesso aveva già introdotto la chimica nella fisica della luce, riferendo molti dei fenomeni prodotti da questo fluido ad azioni esercitate a piccole distanze: così la refrazione e la reflessione erano prodotte da azioni di questo genere, esercitate dai corpi sulla luce (§. 1063), con la sola differenza che l'azione era attrattiva da una parte, e repulsiva dall'altra. Aveva trovato ancora che la natura dei corpi influiva sull'energia della forza refrattiva, e che era più considerevole, in parità di circostanze, nei corpi infiammabili che negli altri. In seguito è stato scoperto che la quantità di cui i raggi si slontanano, nel passare a traverso di un prisma, varia al variare della natura delle sostanze, come lo dimostreremo a suo luogo con maggior precisione. Parimente la proprietà che hanno certi corpi di far soffrire alla luce due refrazioni (§. 1029), sembra che abbia una certa relazione con la natura di questi corpi.

1179. Ma in tutti questi fenomeni l'influenza diretta delle qualità fisiche apparisce in una maniera sensibilissima: per esempio, la refrazione è in generale in rapporto con le densità (§ 1067); e la figura delle molecole entra come elemento nella doppia refrazione, poichè questa non accade in quei corpi nei quali questa figura ha un carattere particolare di simmetria e di regolarità. Ancora la reflessione soffre certe variazioni, che evidentemente sono indipendenti dalla natura dei corpi, come fra l'altre è la differenza della quantità di luce reflessa, che deriva dalla levigatezza e lucidezza della superficie.

Lo stesso nostro dotto chimico non nega che la reflessione prodotta da lastre sottili e trasparenti staccate da un corpo, non dipenda dalla sottigliezza di esse, e adotta assolutamente le osservazioni di Newton sugli anelli colorati, opponendosi soltanto alle conseguenze dedotte da questo fenomeno per spiegare la colorazione dei corpi opachi.

1180. E fra le sue obiezioni una delle più forti è, che alcune sostanze come il carminio e l'indaco non cambiano colore, come dovrebbe accadere, quando col tritarle si assottigliano sempre più le loro particelle. Dall'altra parte, sciogliendo una certa quantità d'indaco nell'acido solforico, nel qual caso esso conserva il suo colore celeste, e quindi allungandone con acqua la soluzione, le molecole che passano per una moltitudine di dimensioni sempre più piccole, non dovrebbero proseguire a reflettere costantemente i raggi celesti.

1181. Si potrebbe rispondere che le particelle d'indaco o di carminio che reflettono i colori ordinarii di queste sostanze sono tanto sottili, che la divisione operata nel modo indicato di sopra, non arriva a quel grado che sarebbe necessario per rendere isolate quelle particelle le quali sarebbero

capaci di reflettere un diverso colore (a). Se è vero, come sembra, che i corpi sieno composti di molecole realmente trasparenti, farà meno maraviglia il vedere il colore ordinario del carminio e dell'indaco reggere in certe operazioni, in cui le particelle di queste sostanze conservano la loro opacità. Il mica che ridotto in piccoli pezzetti ordinariamente è quasi trasparente, potrà più che ogni altra sostanza dare il limite che produce un colore particolare (§. 1157).

1182. Non è però esattamente vero che i mezzi meccanici non alterino mai il colore di una sostanza opaca. Newton ha osservato, che alcune delle polveri colorate di cui si servono i pittori, son soggette ad un piccolo cambiamento di colore, per mezzo di una lunga e forte triturazione, in virtù della quale varia alquanto la densità delle particelle reflettenti (b); nel qual caso accade ordinariamente che il colore primitivo passa ad una gradazione la quale lo avvicina al prossimo colore, nell'ordine successivo che si osserva nel fenomeno degli anelli colorati.

1183. Un'altra obiezione è che tutti gli acidi cambiano in rosso i colori azzurri vegetabili, e gli alcali li cambiano in verde. Ma come immaginare che le sostanze di ciascuna di queste due classi, e di quelle ancora che più differiscono in gravità specifica e in fissezza, agiscano tutte in modo da determinare il grado di sottigliezza che conviene alla reflessione di uno stesso colore?

Domanderemo primieramente, se supponendo che il cambiamento di colore derivi dall'azione chimica dell'acido o dell'alcali, si possa comprendere in qual modo principii differentissimi per le lor qualità, si accordino per esercitare il grado di affinità che produce costantemente la reflessione di un dato colore rosso o verde.

1184. Ci sembra però che possa molto indebolirsi la difficoltà con una risposta diretta. Le esperienze di Newton fanno vedere, che la proprietà di reflettere un dato colore dipende nel tempo stesso dalla densità e dalla grossezza delle lastre o strisce nelle quali penetra la luce; dal che segue che il color verde, per esempio, può esser comune a lastre di densità diversa, purchè le grossezze varino nel rapporto necessario per la reflessione di questo colore. Inoltre è noto che la densità essendo costante, uno stesso colore può esser reflesso da diverse grossezze, che sono fra loro

(a) L'indaco che è la sostanza più minutamente divisa nelle operazioni citate, è molto denso per se stesso. Secondo la regola stabilita da Newton (§. 1141), il grado di sottigliezza che corrisponde alla reflessione d'un dato colore, cresce al crescere della densità.

(b) *Optice lucis, lib.* II, *pars* 3, *propos.* 5.

come i numeri dispari 1, 3, 5, 7, ec. Finalmente nel fenomeno degli anelli colorati, ciascun anello d'un colore determinato avendo una certa larghezza, i punti di questo colore corrispondono successivamente a grossezze le quali crescono a misura che si allontanano dal centro. Da ciò si vede che un tal fenomeno può applicarsi alla colorazione dei corpi, in modo da far sì che tanto gli acidi quanto gli alcali agiscano molto diversamente, lasciando sussistere per l'occhio la stessa apparenza, relativamente alla specie di colore che essi riflettono. Al contrario, riferendo il fatto all'affinità, sembra che alla diversità degli agenti debba pur andar unita una diversità negli effetti medesimi.

1185 Secondo l'opinione del nostro dotto chimico, un colore è composto di diverse specie di raggi, quando dipende dalla combinazione di più principii, ciascuno dei quali ha prodotta la reflessione di uno dei colori della mescolanza; e al contrario sarà semplice se derivi dall'unione di un solo principio con la sostanza colorata. « Così, egli dice, « l'ossido verde di rame non può derivare da molecole diverse, e il « verde delle piante è sicuramente prodotto da una sostanza omoge- « nea (*a*) ». Intanto se si ponga sopra una carta gialla una striscia stretta di qualche sostanza colorata con l'ossido di rame, e se si tenga questa carta fra la luce e l'occhio, agitando un poco la striscia verde per aiutare la sensazione, questa striscia sembrerà celeste; il che prova, come vedremo fra poco (*b*), che il color verde dell'ossido di rame è una mescolanza di giallo e di celeste, e non un semplice colore. Abbiamo sperimentato egualmente le foglie di molte specie di gramigne e di molte altre piante, e tutte son comparse di un celeste più o meno cupo; e un simile effetto abbiamo pure osservato nello smeraldo, che è colorato dall'ossido di cromo. Tale osservazione adunque, che non seconda l'azione dell'affinità, è al contrario perfettamente conforme a ciò che accade nel fenomeno degli anelli colorati, in cui le diverse specie di raggi, mescolandosi in tutti i punti dello strato d'aria compreso fra le due lenti, producono colori più o meno composti.

1186. Questo fenomeno si riproduce in molti corpi naturali, come le piume di alcuni uccelli, i metalli che prendono un aspetto d'iride sulla superficie, le infusioni di molti legni, l'oro ridotto in lastre sottili, ec. Newton che tanto conosceva la forza dell'analogia ne concluse, che in generale accade lo stesso effetto, relativamente alle molecole di tutti i corpi, e che la natura ancora in questo caso svelava il suo segreto, presentando alle nostre osservazioni un fenomeno, in cui per così

(*a*) *Traité de la Teinture*, t. I, p. 57.
(*b*) Vedasi l'articolo seguente relativo ai colori accidentali.

dire si leggevano le regole semplici e precise che ella seguiva nella sua maniera ordinaria di dipiugere. Adottando l' opinione contraria, non solo ci troveremmo costretti a riconoscere due scale dell' azioue colorante, ma ci ridurremmo a indicare in una maniera incerta l'affinità come causa della colorazione dei corpi opachi, senza poter fissare alcuna legge alla sua azione, nè stabilire la connessione e la dipendenza scambievole degli effetti che le vengono attribuiti. Sarebbe pure difficile combinar qui la forza repulsiva, che sembra produrre la reflessione, con l' affinità, la quale è una forza attrattiva Del resto noi non riguarderemo la questione come sciolta senza appello; ma le osservazioni che abbiamo fatte non saranno inutili, se serviranno di stimolo ad altri per sottoporre a un esame più profondo l' argomento di una discussione, in cui Newton è accusato da un avversario degno di lui (a).

DEI COLORI ACCIDENTALI.

1187. La maggior parte dei colori prodotti dalla luce nel reflettersi essa sulla superficie dei corpi opachi, o penetrando nei corpi diafani, proviene dalla riunione di molti colori semplici e omogenei, le azioni dei quali si combinano in modo da produrre sull' organo un' impressione unica, determinata dal numero e dalle diverse specie di raggi reflessi o trasmessi. Ma vi sono alcune circostanze in cui i raggi che colorano la superficie di un corpo, restando gli stessi, eccitano in noi la sensazione di un colore diverso da quello che nascerebbe dalla riunione di essi, sicchè, per esempio, una superficie naturalmente bianca ci comparisce verdastra, un' altra che dovrebbe reflettere il color verde, agisce sull'occhio come una superficie celeste, ec.; e questi colori, i quali non hanno luogo se non in virtù di certe condizioni particolari, sono stati chiamati *colori accidentali*, per distinguerli dai colori naturali con cui i corpi ci compariscono nei casi ordinarii.

(a) I limiti che ci siamo prescritti non ci permettono di esaminare altre obiezioni dello stesso autore, nessuna delle quali ci sembra concludente. Pensa per esempio, che l' inchiostro essendo il resultamento di una combinazione metallica, posta in circostanze che indicano la massima compagine, non dovrebbe esser nero, poichè una sostanza non divien nera, se non quando i suoi corpuscoli son ridotti al massimo grado di tenuità. La risposta è che la densità o la compagine di un corpuscolo e la sua dimensione in grossezza, sono due cose distinte. Così si giunge a ridurre l' oro, che è molto denso, in lame tanto sottili da divenir trasparenti, e siamo ben lungi dal trovare con i mezzi dell'arte il limite della divisione di cui è capace questo metallo. Nulla dunque non impedisce che le molecole dell' inchiostro non sieno nel tempo stesso densissime, e tanto sottili da comparir nere.

1188. Il celebre Buffon è uno di quelli che più hanno studiato sui colori accidentali (*a*); e un solo esempio basterà per dare un' idea del modo con cui egli li faceva apparire. Se si guarda fissamente e per lungo tempo un piccolo quadrato di carta rossa, posto sopra una carta bianca, si scorge intorno al piccolo quadrato rosso una specie d'orlo di un verde debole tendente al celeste; e cessando di guardare il quadrato rosso, se si porti ad un tratto l'occhio sopra una qualche parte della carta bianca, vi si scorge un quadrato tinto del medesimo verde tendente al celeste, e quest' apparenza è più o meno durevole, secondochè più o meno forte è stata l'impressione del color rosso.

1189. Altri fisici e particolarmente Rumford e Prieur della Costa d'Oro, che hanno in seguito studiato questo argomento, hanno fatte queste esperienze in un modo che le rende molto più pronte e più sensibili. Si pone fra la luce e l'occhio un pezzo di carta, di drappo o di vetro d'un colore, per esempio, rosso, e si presenta una piccola striscia di cartone bianco parallelamente e a molta vicinanza della superficie anteriore della sostanza colorata, e in tal caso il cartone comparisce di un colore verde-azzurro o di un verde tendente al celeste; e muovendolo con rapidità da una parte e dall'altra, tenendolo però sempre a pochissima distanza o ancora a contatto con la sostanza colorata, il suo colore diviene più intenso. Potrà ancora vedersi subito questo colore in tutta la sua vivacità, mettendo la sostanza colorata in una certa situazione, come quando si tiene elevata sopra il livello dell'occhio, e un poco inclinata in avanti (*b*).

1190 Il colore accidentale della piccola striscia bianca, varia al variare del color naturale della sostanza che gli serve come di fondo: così la piccola striscia posta sopra una carta celeste presenta l arancio rossastro, sopra una carta violetta presenta il bianco verdastro, sopra una carta verde il violetto rossastro, sopra una carta gialla il violetto tendente al celeste, e sopra una carta color d'arancio l'azzurrognolo. La maggior parte di queste diverse tinte son poco intense, quantunque distinte, specialmente quando le vogliamo render più vive per mezzo del moto (*c*).

Queste esperienze si estendono anco al caso in cui la piccola striscia

(*a*) *Histoire naturelle*, *édit. in* 12, 1774, *Supplément*, t. II, p. 309 e seg.

(*b*) Può rendersi più curiosa questa esperienza tagliando una carta bianca in forma di piccolo arboscello, e quindi incollandola sopra una carta rossa; e dando a questa carta la conveniente situazione, si vedrà il piccolo arboscello divenir verde nell'istante.

(*c*) Ognuno comprende che la gradazione del colore accidentale deve variare secondochè il colore del fondo è più o meno puro, più o meno intenso, ec.

di cartone ha essa pure un colore determinato, ma diverso da quello del fondo: per esempio, una striscia di un color verde divien celeste sopra un fondo giallo, e se ha un colore arancio, divien rossa sul medesimo fondo.

1191. Il P. Scherffer, dotto Gesuita, sembra che sia stato il primo a dare la teoria di queste apparenze singolari (*a*). Per giungere a questo intento, bisognava prima di tutto riportare i fenomeni a una regola fondata sulla composizione della luce, e sopra una certa relazione fra i colori delle due superficie, delle quali una serve come di fondo all'altra. Con questo fine il P. Scherffer ricorse ad una costruzione ingegnosissima, immaginata da Newton per determinare la specie di colore composto che deve resultare da una mescolanza di colori primitivi, di cui sieno date le qualità e le quantità relative (*b*) Questo illustre geometra paragona le azioni dei colori che formano la mescolanza a quelle che molti pesi esercitano gli uni sugli altri, in modo da produrre una sola azione, la direzion della quale passi per il centro comune di gravità di tutti questi pesi. Per applicar quest' idea alla soluzione dell' indicato problema, Newton divide una circonferenza di circolo in sette archi *ab*, *bd*, *dc*, ec. (*fig.* 73), le lunghezze dei quali sono proporzionali agli spazii che occupano sullo spettro solare i sette colori principali di cui è composto: per esempio *ab* è l'arco che corrisponde al rosso, *bd* quello che corrisponde all'arancio, e così degli altri (*c*)

(*a*) *Dissertation sur les couleurs accidentelles*; *Journal de Physique*, *Mars* 1785, p. 175 e seg.

(*b*) *Optice lucis*, lib. I, *pars* 2, *propos.* 6, *probl.* 2.

(*c*) I numeri indicati da Newton, come quelli con cui sono in rapporto i diversi archi *ab*, *bd*, *de*, ec., non combinano con quelli che gli hanno servito per rappresentare gli spazii occupati dai colori sullo spettro solare. Questi formano la serie 1, $\frac{8}{9}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{9}{16}$, $\frac{1}{2}$, nella quale 1 è il limite del violetto, $\frac{8}{9}$ il limite fra il violetto e l' indaco, $\frac{5}{6}$ il limite fra l' indaco e il celeste, ec. Ne segue dunque che le differenze fra due numeri contigui prese con lo stesso ordine, danno quest' altra serie $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{18}$, $\frac{1}{12}$, $\frac{1}{12}$, $\frac{1}{15}$, $\frac{3}{80}$, $\frac{1}{16}$, i diversi termini della quale sono nel rapporto degli spazii, che sullo spettro solare corrispondono al violetto, all' indaco, al celeste, al verde, al giallo, all' arancio, al rosso. E poichè la somma dei termini di questa serie è eguale a $\frac{1}{2}$, se si rappresenti la circonferenza con l' unità, avremo, raddoppiando questi medesimi termini, i numeri $\frac{2}{9}$, $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{6}$, $\frac{1}{6}$, $\frac{2}{15}$, $\frac{3}{40}$, $\frac{1}{8}$, che rappresentano le porzioni della circonferenza relative ai diversi colori, il che dà 80° per il violetto, 40° per l' indaco, 60° per il celeste, 60° per il verde, 48° per il giallo, 27° per l' arancio, e 45° per il rosso. Questa suddivisione, che si osserva nella *fig.* 38, è quella stessa usata da Scherffer.

1192. Se dunque voglia sapersi quale sarà il colore composto della mescolanza dei sette colori in data proporzione, si cerchino i centri di gravità m, n, r, s, t, x, z dei sette archi che rappresentano i sette colori dello spettro solare, e intorno a questi centri si descrivano le circonferenze di altrettanti circoli, le superficie dei quali sieno nel rapporto delle quantità dei raggi, che devon esser somministrati alla mescolanza dai varii colori, e finalmente si cerchi il centro comune di gravità di tutti questi circoli. Sia y questo centro di gravità; se dal centro c della circonferenza age si conduca per il punto y un raggio cyp, il punto p della circonferenza sul quale caderà questo raggio, indicherà la specie di colore della mescolanza. Se il punto p tagliasse l'arco bd in due parti eguali, la mescolanza sarebbe di un colore arancio puro; ma poichè p in questo caso si getta dalla parte b, che è il limite del rosso, il colore della mescolanza sarà arancio rossastro. Dall' altra parte, mentre la situazione del punto p indica il tuono del colore, la situazione del punto y ne fa conoscere l'intensità, la quale è tanto maggiore quanto più questo punto è vicino alla circonferenza, ed è tanto più debole quanto esso è più vicino al centro, dimanierachè se p e y coincidessero, il colore tenderebbe al bianco.

1193. Lo stesso metodo serve per trovare il color misto che deve esser prodotto dalla riunione di un numero dato di colori, presi fra i sette colori principali, e le quantità relative dei quali supporremo esser le stesse che nello spettro solare. Per esempio se si domanda qual è il colore composto che deve resultare dalla mescolanza di questi sei colori, violetto, indaco, celeste, giallo, arancio, rosso, ossia di tutti i colori, eccettuato il verde, la soluzione del problema si riduce a trovare il centro k di gravità dell'arco fae eguale alla somma dei sei archi che rappresentano i colori dati, e a far passare per questo centro il raggio cl. La situazione del punto l indica che il colore composto cercato è il violetto rossastro; ed è chiaro che questo colore deve esser debole, a motivo della piccola distanza fra il punto k e il centro c. Facilmente si comprende cosa dovrebbe farsi nel caso di cinque colori componenti, o anco di minor numero. In questo ultimo caso i colori soppressi produrrebbero parimente, con l'unione loro, un colore misto che è pur facile a determinarsi; dal che si vede che l'unione dei colori prismatici può dividersi in varie maniere in più parti, capaci di presentare ora tutti i colori misti, ora alcuni colori misti con alcuni colori semplici. Se la divisione si faccia in due sole parti, ciascuno dei due colori resultanti si chiama *complemento* dell'altro, espressione introdotta da Hassenfratz, che ha molto studiato sulle esperienze della luce colorata.

1194. Per esser dunque in grado di predire qual colore accidentale

apparirà all'occhio, quando si pone una piccola striscia di carta bianca sopra una carta colorata, basta sapere che questa striscia presenta sempre il colore complementario di quello del fondo. Così quando essa è sopra una carta di color rosso o piuttosto di un rosso violetto, apparisce di un verde tendente al celeste: ed infatti questo ultimo colore è quello che resulta dalla mescolanza dei colori prismatici, eccettuato il rosso ed il violetto. Per la stessa ragione la piccola striscia diviene di un colore arancio rossastro sopra un fondo celeste, violetto-rossastro sopra un fondo verde, ec.: e soltanto col guardar la figura, si può giudicare a un dipresso qual colore accidentale farà nascere sulla piccola fascia la presenza del colore circostante, guardando primieramente il mezzo dell'arco che appartiene a questo colore, e quindi il punto opposto della circonferenza; il qual punto indicherà, se non la gradazione, almeno la specie del colore accidentale.

1195. Quando la piccola striscia è colorata essa pure, passa ad un colore diverso, perchè il suo color naturale resulta da una mescolanza di più colori, uno dei quali è nel tempo stesso il colore del fondo. Si sa che il verde, quale lo usano gli artisti, è formato dell'unione del giallo col celeste: dunque se si ponga una piccola striscia verde sopra un fondo giallo, essa deve comparire celeste, perchè il celeste non è altro che il verde, da cui è stato sottratto il giallo. Per una ragione eguale una striscia di color d'arancio deve comparire rossa sopra una carta gialla, perchè l'arancio è un composto di rosso e di giallo.

1196. È questa la regola con cui l'organo della vista riceve la sensazione prodotta da un tal fenomeno. Ma quale è la causa da cui nasce nell'organo stesso una disposizione conforme a questa regola, e in qual modo una piccola striscia bianca, posta, per esempio, sopra un fondo rosso, quantunque tramandi all'occhio tutti i raggi che compongono il bianco, eccita in esso l'impressione del celeste tendente al verde, cioè del colore che presenterebbe realmente la piccola striscia, se dalla bianchezza fosse stata tolta la parte che le è comune col colore del fondo? Scherffer ha tentato di spiegare questa illusione per mezzo di questo principio, che se un senso riceve nel tempo stesso due impressioni del medesimo genere, una forte e viva, l'altra molto più debole, questa è come assorbita dalla prima, dimanierachè diviene impercettibile per esso. Prendiamo di nuovo l'esempio di una piccola striscia bianca posta sopra una carta di color rosso: possiamo qui considerare la bianchezza di questa striscia come composta di verde tendente al celeste, e di rosso; ma la sensazione del color rosso operando molto meno intensamente del color circostante del medesimo genere, si trova ecclissata da quest'ultima, dimanierachè l'occhio non è sensibile se non

all' impressione del color verde, il quale essendo come estraneo al color del fondo, agisce sull' organo con tutta la sua energia. Il principio si applica come da se stesso a tutti gli altri casi che abbiamo citati.

1197. Questa spiegazione quantunque ingegnosa, non è però esente da difficoltà. Il celebre Laplace ne ha proposta una molto più soddisfacente, la quale consiste nel supporre che esista nell' occhio una certa disposizione; in virtù della quale i raggi rossi compresi nel bianco della piccola striscia, nel momento in cui giungono a questo organo, sono come attratti da quelli che formano il color rosso predominante del fondo, dimanierachè le due impressioni non ne formano che una sola, e quella del color verde si trova in libertà di agire come se fosse sola. Supponendo le cose in tal modo, la sensazione del rosso decompone quella del bianco, e mentre le azioni omogenee si uniscono insieme, l' azione dei raggi eterogenei, che si trova libera dalla combinazione, produce separatamente il suo effetto.

1198. Molte sostanze minerali hanno una proprietà che si combina con gli esposti fenomeni, ed è che queste se si riguardino successivamente per reflessione e per refrazione, presentano due colori diversi, ciascuno dei quali è il complemento dell' altro. Una delle più singolari tra queste sostanze è la calce fluata chiamata volgarmente *spato fluore*. In Inghilterra si trovano alcuni cristalli cubici di questo minerale, nei quali il colore reflesso è il verde rossastro, e il color refratto è il verde, le quali due tinte hanno fra loro la relazione suddetta, e ordinariamente il primo è il violetto cupo, e il secondo il violetto chiaro; e ciò perchè l' arco al quale corrisponde il violetto, essendo più piccolo di quello a cui corrisponde il verde, il suo centro di gravità si avvicina maggiormente alla circonferenza, mentre il centro di gravità relativo al verde se ne allontana in proporzione; il che per una parte tende a render più intenso il tuono del colore, e dall' altra ad indebolirlo.

DEI RAPPORTI FRA LA LUCE E IL CALORE.

Nell' osservare i molti rapporti che passano fra la luce e il calore, ci limiteremo alla considerazione dei fatti, senza pretendere di dedurre alcuna conseguenza sull' identità delle cause. Queste osservazioni son qui tanto più opportune, quanto che è stato tentato con moderne esperienze di accrescere il numero delle nostre cognizioni relativamente a questi rapporti, facendo uso in esse della luce colorata come termine di comparazione.

1199. Si sa che i raggi solari riscaldano in generale i corpi esposti alla loro azione, ma non li riscaldano tutti allo stesso grado; e Schéele

col suo solito finissimo criterio ben conobbe le circostanze che fanno variare l'intensità della loro azione, e il principio che serve a spiegare questa diversità. Avendo egli esposto a questa medesima azione due termometri eguali, uno pieno d'alcool di color rosso cupo, e l'altro d'alcool non colorato, osservò che il liquido rosso saliva più rapidamente dell'altro; ma immergendo poi i due termometri nell'acqua calda, ambedue i liquidi salivano ad altezza eguale. Aveva osservato inoltre, che quanto più il colore d'un corpo è vicino al nero, tanto più questo corpo è riscaldato dai raggi del sole; mentre al contrario i corpi più bianchi son quelli che si riscaldano meno.

1200. Si vede dunque una singolare analogia fra la luce e il calorico raggiante, il quale non diviene capace di riscaldare un corpo se non perdendo la sua proprietà raggiante, per prendere, nell'unirsi con questo corpo, il carattere di calorico combinato, e in tal caso soltanto divien sensibile al termometro (§. 147 e seg.). In egual modo finchè il moto della luce non è interrotto, non ne resulta verun calore propriamente detto (*a*), e se questo moto non fa che cambiar direzione, per effetto della reflessione, i raggi che soffrono questo effetto non contribuiscono nulla alla produzione del calore, il quale non dipende che dai raggi assorbiti. Quindi è che i corpi i quali assorbiscono la luce in maggiore abbondanza, come i neri, son quelli che vengon più riscaldati da essa; e che essa agisce molto più debolmente per riscaldare i corpi bianchi, perchè essi la reflettono.

Nondimeno fra la luce e il calore passa questa differenza, che i raggi della prima passano liberamente a traverso del vetro e dei liquidi limpidi, mentre i raggi del calorico restano imprigionati negli stessi corpi ai quali comunicano calore (*b*).

1201. Il dotto fisico Rochon, nel 1775, tentò di trovare con l'esperienza, se i raggi di diversa refrangibilità producono sul termometro gradi di calore sensibilmente diversi (*c*). A tal oggetto si servì d'un prisma di flint-glas per separare i raggi diversamente colorati, che faceva passare a vicenda a traverso di una lente; e osservò che un termometro a aria, esposto all'azione degli stessi raggi, saliva a misura che questi si succedevano, dal violetto fino al rosso, e il rapporto di calore fra il rosso chiaro e il più cupo violetto, appariva quasi di 8 : 1. Egli

(*a*) Schéele, *Traité chimique de l'Air et du feu*, *traduit par le baron de Dietrich*, Paris, 1781, p. 146.

(*b*) Berthollet, *statiq. chimiq.*, t. I, p. 192.

(*c*) *Essai sur les Degrès de chaleur des rayons colorés*; *Recueil de Mém. sur la Mécan. et la Phys.* p. 348 e seg.

però modestamente confessava, che a mal grado di tutte le precauzioni prese per ottenere i più precisi resultamenti, non era ancor soddisfatto del suo lavoro (a).

1202. Herschell, astronomo celebre per le sue importanti scoperte, intraprese una bella serie d'esperienze dirette al medesimo scopo, ed ha estese le sue ricerche a tutto ciò che poteva tendere a ravvicinare le proprietà fisiche della luce e quelle del calorico. Nelle esperienze relative al calore prodotto dai raggi diversamente colorati dello spettro solare, faceva passare successivamente questi raggi per un'apertura fatta in un parafuoco, e li riceveva sulla pallina d'un termometro posto dietro a questa apertura. Da queste osservazioni concluse, che la facoltà calorifica dei raggi rossi, stava a quella dei raggi violetti, quasi come 7 : 2, rapporto molto minore di quello trovato dal fisico francese (b).

1203. Leslie ha ripetute in seguito le stesse esperienze, servendosi d'uno strumento sensibilissimo che egli chiama *fotometro* (misura della luce), che è costruito in un modo quasi simile al termometro differenziale (§. 164), di cui già si servì egli stesso tanto utilmente, per osservare gli effetti del calorico raggiante. Il pezzo principale del fotometro consiste in un tubo di vetro simile a un sifone rovesciato, che avesse le due braccia eguali in altezza, e terminate con palle di egual diametro; se non che in questo strumento una palla è di smalto nero, e l'altra di vetro ordinario. I moti del liquido, che è acido solforico tinto di color rosso col carminio, si misurano per mezzo di una graduazione, lo zero della quale è situato verso la cima del braccio terminato con palla di smalto.

1204. L'uso di questo strumento è fondato su questo principio, che quando la luce è assorbita da un corpo, produce un calore proporzionato alla quantità d'assorbimento. Quando lo strumento viene esposto ai raggi del sole, quelli fra questi raggi che sono assorbiti dalla palla di color nero, riscaldano l'aria interna, per la qual cosa il liquido scende subito con rapidità nel braccio corrispondente. Ma poichè una porzione del calore, che si introduce a causa dell'assorbimento, si dissipa raggiando, e la differenza fra la quantità di calore perduto, e quella di calore acquistato va sempre scemando, v'è un termine in cui queste due quantità essendo divenute eguali, lo strumento è stazionario; e allora si giudica dell'intensità della luce incidente, dal numero dei gradi percorsi dal liquido.

1205. L'autore di questo ingegnoso strumento ne indica i vantaggi,

(a) *Essai sur les degrés de chaleur des rayons colorés; Recueil de Mém. sur la mécan. et la phys.* p. 355.

(b) *Biblioth. Britan.*, t. XV, p. 196 e seg.

per determinare l'aumento progressivo che soffre l'intensità della luce, e la gradazione in modo contrario che succede a questo progresso, tanto dalla nascita del giorno fino alla sua declinazione, quanto dal solstizio d'inverno fino alla fine dell'autunno seguente. Per mezzo dello stesso strumento si potrebbe anco paragonare l'azione della luce nei diversi paesi, in alcuni dei quali il cielo è quasi costantemente puro e sereno, mentre in altri sembra esser coperto d'un velo che ne offusca la chiarezza.

1206. Leslie essendosi proposto, come abbiamo detto, di misurare l'energia dei raggi diversamente colorati che compongono lo spettro solare, ha fatto passare un getto di luce a traverso di un prisma di flint-glas, e il fotometro presentato successivamente alle diverse parti dello spettro, ha indicato che il rapporto fra i gradi di forza dei raggi celesti, verdi, gialli e rossi, era quasi quello dei numeri 1, 4, 9, 16; rapporto che considerato nei due ultimi termini, è doppio di quello che Rochon aveva dedotto dalle sue esperienze, e più che quadruplo di quello che Herschell aveva sostituito al precedente.

1207. Il celebre astronomo inglese paragonò ancora i raggi dello spettro relativamente alla lor forza illuminatrice, e giudicò che il rosso il quale formava l'orlo del prisma da una parte, era sorpassato dal giallo, che era il più chiaro possibile; che il verde risplendeva quasi egualmente, e che quindi appariva una degradazione sensibile fino al violetto, che emetteva la minima luce (*a*). Questi resultamenti differiscon poco da quelli annunziati da Newton molto tempo prima (*b*).

1208. Lo stesso astronomo tentò di verificare una congettura, che gli si era presentata alla mente nel corso delle sue ricerche indicate di sopra, cioè che fuor dei limiti dello spettro solare esistessero alcuni raggi soggetti egualmente alla legge di refrangibilità, ma non luminosi, e semplicemente calorifici. Da tutte queste esperienze concluse, che la facoltà di riscaldare aveva gli stessi limiti dello spettro dalla parte del violetto, che essa cresceva progressivamente dal violetto fino al rosso, e quindi al di là ancora di questo colore, ove essa esisteva in certi raggi insensibili all'occhio, e meno refrangibili di tutti quelli che erano luminosi; dimanierachè la sua massima forza corrispondeva a un mezzo pollice incirca fuori dei raggi rossi.

1209. Ma appunto perchè queste esperienze erano importantissime e delicatissime, bisognava verificarle con la massima precisione; e Leslie, in una verificazione di questo genere, non ha potuto scorgere alcun indizio di calore al di là dei limiti dello spettro solare; e si può

(*a*) *Biblioth. Britan.*, t. XV, p. 200 e seg.

(*b*) *Optice lucis, lib.* I, *pars* 1, *propos.* 7, *exper.* 16.

verisimilmente supporre, che l'effetto annunziato da Herschell dipendesse dall' influenza estranea di qualche causa accidentale.

1210. Lo stesso difetto d'accordo si trova del pari nei resultamenti ottenuti da altri fisici, se non che il resultamento di un'esperienza che sembra fatta con moltissima accuratezza da Berard, combina con quello trovato da Leslie. Berard avendo immerso la pallina d'un termometro sensibilissimo nella luce rossa dello spettro, in modo che ne fosse tutta coperta, ha notato il grado di temperatura che indicava il liquido dello strumento; quindi ha trasportato a poco a poco il termometro fuori dello spettro, ed ha veduto il liquido scendere a misura che i raggi rossi cessavano di colpire la pallina, dimanierachè quando essa si trovava totalmente scoperta, l'eccesso della temperatura del liquido su quella dell'aria circostante, si riduceva a $\frac{1}{5}$ di quella che indicava al principio dell'esperienza. Da ciò ha concluso che la massima azione calorifica dello spettro esisteva nei raggi estremi, e non nello spazio situato al di là dei medesimi (*a*).

1211. Le esperienze fatte da Wollaston, Ritter e Beckman, sulla parte opposta a quella osservata fin allora dai fisici, sono fra loro più coerenti delle prime; poichè essi hanno trovato che la facoltà calorifica era insensibile al nascere del violetto, sicchè da questo punto essa andava gradatamente crescendo, andando verso il rosso. Ma a questo resultamento ne è succeduto un altro notabilissimo, dal che i tre fisici hanno concluso, che un poco al di là del raggio violetto esistono alcuni raggi oscuri, capaci di esercitare un'azione chimica analoga a quella che era già stata riconosciuta nella luce diretta del sole, l'effetto della quale è di alterare i colori di tutte le sostanze vegetabili, e quelli di molte sostanze minerali; ed hanno osservato, per esempio, che il raggio violetto ha la proprietà di far diventar nero il cloruro d'argento al pari della luce solare. Berard ha trovato nei raggi indaco e celeste alcuni indizii dell'azion chimica; ma essa scemava rapidamente, e presto diveniva insensibile. Intanto sembra per analogia che quest'azione si estenda fino ai raggi rossi, ma per una successione di gradazioni tanto leggiere, che non abbiamo verun mezzo di scorgerle.

1212. Si presentano qui due ipotesi: secondo la prima, le tre proprietà relative, una alla colorazione, l'altra all'azione del calore, e la terza all'azione chimica, esisterebbero in tre specie distinte di raggi, dimanierachè lo spettro potrebbe considerarsi come la riunione di tre

(*a*) Vedasi il rapporto sulla Memoria dello stesso fisico, relativa alle proprietà fisiche e chimiche dei raggi che compongono la luce solare, fatto da Berthollet, Chaptal e Biot. *Annal. de Chimie*, t. LXXXV, p. 309 e seg.

spettri sopprapposti, ciascuno dei quali prenderebbe il suo carattere distintivo da una di queste proprietà. I limiti fra i quali sarebbero ristretti, non sarebbero gli stessi, almeno in quanto ai due, uno dei quali fosse luminoso e colorato, e l'altro si manifestasse con la sua azione chimica, e questo ultimo sorpasserebbe di una piccola quantità lo spazio occupato dai raggi violetti.

1213. Nella seconda ipotesi le azioni chimica e calorifica sarebbero riunite nei medesimi raggi a quella che produce la sensazione della luce e dei colori. L'influenza della refrangibilità che va crescendo dal rosso fino al violetto, produrrebbe una gradazione analoga nell'azione chimica, e una gradazione contraria nell'azione calorifica. I raggi che esistono al di là del violetto, e nei quali risiede la massima forza dell'azione chimica, sarebbero realmente colorati come gli altri, ma sarebbero insensibili ai nostri organi, perchè troppo deboli, e l'azione calorifica esisterebbe altresì negli stessi raggi, in cui la sua minima forza sarebbe una quantità nulla per i nostri sensi

Nella prima ipotesi il calorico e la luce sarebbero due fluidi diversi, mentre nella seconda dovrebbero riguardarsi come modificazioni di uno stesso fluido.

Si sa che i fisici da lungo tempo son divisi fra queste due opinioni; e questo motivo, indipendentemente da altre osservazioni, basterebbe per far sospendere il giudizio relativamente alla scelta fra le due ipotesi alle quali si riferiscono queste opinioni. È questa una di quelle questioni intorno alle quali bisogna starsene ai fatti osservati fin qui, e aspettare che l'esperienza ci illumini bastantemente in quanto alla lor maniera di essere.

4. DELLA VISIONE NATURALE.

1214. Abbiamo considerata successivamente la luce come tramandata dai corpi dei quali essa è un'emanazione; quindi l'abbiamo considerata quando passava a traverso dello spazio con una rapidità inconcepibile, ma che nondimeno può esser misurata; finalmente l'abbiamo osservata quando vien ricevuta dalle superficie dei corpi, alcuni dei quali la riflettono, mentre altri la trasmettono; e studiando le diverse modificazioni che essa riceve, secondo i varii modi con cui questi corpi agiscono sopra di essa, abbiamo scoperte le cause della trasparenza, dell'opacità e dei colori.

Le impressioni che i varii oggetti eccitano nell'organo della vista, e che ce ne fanno distinguere i diversi stati, dipendono da un'azione immediata esercitata su questo organo dalla luce che essi tramandano, o se essa venga immediatamente da un corpo luminoso, o se sia stata

reflessa dalla superficie di uno specchio o d'un corpo opaco, o finalmente se sia passata a traverso d'un corpo trasparente.

Considereremo dunque in che consiste quest'azione, indicheremo il corso che seguono nell'organo i raggi tramandati dagli oggetti, ed esporremo i resultamenti delle varie ricerche fatte dai fisici sulla maniera con cui si eseguisce la visione; e per principiare da ciò che v'è di più semplice, supporremo primieramente che fra l'occhio e l'oggetto non esista verun intermezzo che modifichi l'azione della luce.

Della struttura dell'occhio.

1215. Relativamente alla maniera con cui si eseguisce la visione, gli antichi filosofi non avevano che imperfettissime idee, e in generale non sapevano altro se non che gli occhi ne sono gli strumenti; ma sapevano però rilevare quei tratti di sapienza e di providenza che si presentano naturalmente al pensiero, semplicemente osservando questo organo (*a*). Così ammiravano la situazione dell'occhio nel luogo più elevato della testa, di dove con un guardo soltanto può abbracciare una moltitudine di oggetti; ammiravano la sua massima mobilità, e quella facilità che ha di dirigersi per ogni verso, e di moltiplicarsi in certo modo con la varietà delle sue situazioni; e finalmente ammiravano la cedevolezza del le palpebre sempre pronte ad abbassarsi come un velo, per difenderlo tanto dalle impressioni di una luce troppo viva, quanto dall'urto di un corpo esterno, o per secondare il potere del sonno su tutti gli organi. Ma con tutte queste osservazioni si fermarono quei filosofi all'esterno dell'occhio, senza punto penetrare nell'interno meccanismo della visione. In seguito è stato riconosciuto che questo organo è un vero strumento di ottica, in fondo del quale la luce va a disegnare, o meglio a dipingere in piccolo i ritratti di tutti i corpi situati in presenza dello spettatore; sicchè si può dire, che fra tutti i soggetti di osservazione che la natura presenta all'occhio da ogni parte, esso non vede nulla che più della sua struttura medesima mostri espressi i caratteri di un'intelligenza infinita.

1216. Cominciamo dunque da una minuta descrizione dell'occhio, la quale, per quanto possa essere imperfetta per un anatomico, basta però al fisico per concepire un'idea degli effetti della visione.

La cavità in cui è situato l'occhio, si chiama l'*orbita dell'occhio*. I nervi ottici, che essendosi separati nel partire dal cervello, si erano quindi riuniti in un punto comune, si separano di nuovo, e ciascuno di essi entra nell'orbita posta dalla sua parte, nella quale si sviluppa

(*a*) *Cic. de Nat. Deor.*, t. II, n. 141 e seg.

per formare il globo dell'occhio, sicchè gl'inviluppi di questo globo non sono altro che l'espansione del nervo ottico.

In questo nervo si distinguono due tuniche principali, situate una sopra l'altra intorno alla parte midollare: la tunica esterna che si chiama la *dura madre*, nello svilupparsi prende una forma rotonda, di cui la parte anteriore, che è scoperta rappresenta quasi un segmento di sfera d'un diametro minore di quello della parte infossata nella cavità dell'occhio, il che la rende saliente, e più adattata a ricevere i raggi che vengono per parte.

Di queste due porzioni di sfera, quella che occupa il fondo della cavità è opaca e molto consistente, e si chiama *sclerotica* o *cornea opaca;* l'altra porzione che forma la parte anteriore, è più sottile, più flessibile, e nel tempo stesso diafana, e però si chiama *cornea trasparente*. La seconda tunica del nervo ottico, che si chiama la *pia madre*, si stende sotto la dura madre: essa è composta di due strati, uno dei quali che è una vera membrana, si applica esattamente sulla cornea opaca, e si confonde con essa in vicinanza della cornea trasparente; l'altra che si chiama *coroide*, è una riunione di nervi e di vasi che escono dalla superficie interna della prima, e che sono imbevuti di una specie di liquido nerastro. Questi nervi e questi vasi si aprono in parte, e formano quel tessuto vellutato che Ruysch ha riguardato come una tunica particolare, alla quale ha dato il suo nome

Verso il punto in cui la cornea trasparente si unisce alla sclerotica, la coroide si stacca, e anzi si suddivide in due strati, dei quali quello che è anteriore produce quella specie di corona colorata che si chiama *iride*, verso il mezzo della quale è un'apertura rotonda conosciuta sotto il nome di *pupilla*; lo strato posteriore che si chiama *corona ciliare*, è increspato e come composto di piccole foglie bislunghe, di cui vedremo l'uso fra poco.

L'iride è una riunione di fibre muscolari, alcune orbicolari e disposte intorno alla circonferenza della pupilla, altre dirette come altrettanti raggi: le prime servono a ristringere la pupilla, per moderare l'impressione di una luce troppo viva, e l'altre a dilatarla, per lasciare entrare in maggior quantità una luce troppo debole.

I colori più comuni dell'iride sono l'arancio e il celeste, e spesso questi colori si trovano mescolati in un occhio stesso; e gli occhi che si chiamano *neri* sono d'un giallo bruno o d'un arancio cupissimo.

La corona ciliare tiene come incassato, in faccia al foro della pupilla, un corpo trasparente molto solido, di forma lenticolare, e più convesso verso il fondo dell'occhio che nella parte anteriore, e questo corpo si chiama il *cristallino*

La porzione midollare del nervo ottico nel distendersi forma una membrana bianca e sottilissima, applicata sulla coroide, e che si chiama *retina*.

Lo spazio compreso fra la cornea trasparente e il cristallino, si trova diviso dall' iride in due specie di camere, che comunicano insieme per mezzo della pupilla, e che sono piene di un'acqua limpida, chiamata *umore acqueo*. Fra il cristallino e il fondo dell' occhio, v'è un altro spazio molto maggiore, occupato da una specie di ghiaccio trasparente, che è l'*umor vitreo*. Il cristallino è come incassato nella parte anteriore di questo umore, il potere refrattivo del quale è minor del suo.

Ciò che si chiama il *bianco dell' occhio*, è prodotto da una tunica particolare che si chiama *albumina*, e che è fortemente adesa alla cornea; essa è coperta da un'altra membrana sottilissima, floscia e flessibile, chiamata *congiuntiva*, che si ripiega sull' orlo dell' orbita, e forma la superficie interna delle palpebre, ed ha molti fori per i quali passa il fluido che viene dalla glandula lagrimale.

L'occhio è stato provvisto di varii muscoli destinati a farlo muovere in avanti o indietro, ad allargarne o ristringerne l' apertura, e a procurargli una moltitudine di situazioni diverse, per metterlo in stato di scorgere distintamente gli oggetti situati a diverse distanze.

Del corso dei raggi nell'occhio.

1217. Da tutti i punti d' un oggetto che si presenta all'occhio, partono alcuni raggi che divergono per ogni verso, ma fra i quali quelli che son diretti in modo da potere entrare nella piccola ap. rtura della pupilla, formano come altrettanti sottili pennelli, in modo che quelli i quali compongono uno stesso pennello son quasi paralleli Supponiamo che l' oggetto essendo di forma bislunga, sia situato orizzontalmente, e per maggior semplicità consideriamo soltanto il pennello che viene dal mezzo, e i due che vengono dalle estremità. L' asse del primo pennello, passando per il centro della cornea, e cadendo ad angolo retto sulla superficie del cristallino, penetra nei diversi umori dell' occhio senza refrangersi. Questo asse si chiama *asse ottico*, ed è d' un grande uso nella spiegazione dei fenomeni della visione. Gli altri raggi che cadono obliquamente sulla cornea, si refrangono nell' umore acqueo, convergendo verso l' asse : questa convergenza cresce mentre essi passano a traverso del cristallino; e quando escono da questo corpo lenticolare per entrare in un mezzo meno denso, acquistano un nuovo grado di convergenza, sicchè il cono che essi formano dietro al cristallino, ha il suo vertice situato precisamente nel fondo dell' occhio, dove dipinge l' immagine

del punto da cui essi son partiti per venire a questo organo. Questo corso dei raggi è analogo a quello di cui parlammo (§. 1010) esponendo gli effetti della refrazione nei mezzi terminati da superficie curve.

Gli assi dei due altri pennelli entrando per la cornea si refrangono, come pure si refrangono i raggi che gli accompagnano: questi pennelli ancora si incrociano passando per il foro della pupilla, e soffrono nel cristallino e nell umor vitreo nuove refrazioni, dal che deriva che i raggi di cui son composti si avvicinano ai loro assi respettivi, dimanierachè formano due nuovi coni che riposano con le loro basi sulla superficie posteriore del cristallino. e con i vertici vanno nel fondo dell'occhio, ove dipingono egualmente le immagini dei punti corrispondenti dell'oggetto.

Tutti i pennelli partiti dagli altri punti dell'oggetto procedono in egual modo, dimanierachè nel fondo dell'occhio si forma un'immagine perfetta di questo oggetto, ma che è rovesciata. perchè i raggi che vengono dai punti situati da una parte e dall altra di quello di mezzo, si incrociano nel passare a traverso della pupilla. La più comune opinione è che l'immagine si dipinga sulla retina, ma alcuni celebri anatomici sono stati di parere che la coroide sia la vera tela del quadro (a).

1218 Può verificarsi per mezzo dell'esperienza ciò che abbiamo detto intorno alla causa della visione, prendendo l'occhio di un bove ucciso da poco tempo, e spogliandolo, dalla parte posteriore, della sua sclerotica. Se si ponga questo occhio ad un'apertura fatta nell'imposta di una camera oscura, in modo che la cornea sia al di fuori, si vedranno le immagini distinte degli oggetti esterni, a traverso delle membrane trasparenti della parte opposta.

Come il senso del tatto influisce sulla visione.

1219. Ammettendo questa verità. che un oggetto appena è davanti all'occhio ha il suo ritratto nel fondo di esso, sembra non esservi bisogno d'altro per spiegare il fenomeno della visione; e quasi si crederebbe che i nostri occhi nel momento in cui si aprono per la prima volta, sieno già istruiti, e che la sola presenza degli oggetti basti perchè le impressioni fatte sulla retina, e trasmesse per mezzo del nervo ottico fino al cervello, diano occasione all'anima di rappresentarsi questi oggetti tali quali sono, e nei punti in cui esistono. Ma ciascuno comprenderà che è necessaria qualche cosa di più, se rifletta che l'immagine la quale si dipinge sulla retina, è una semplice superficie figurata e rivestita di co-

(a) Smith, *Traité d'Optique* p. 44, nota 31 e seg.

lori, senza alcun rilievo, e che dall' altra parte essa non è che il resultamento dell' azione che esercitano sull' organo le estremità dei raggi che lo toccano, e per se stessa non si riporta alle estremità opposte, in cui si trova situato il corpo che è l' oggetto della visione. In conseguenza di tali considerazioni alcuni fisici avevano congetturato che esistesse un intermezzo, il quale ci servisse a collegare le impressioni prodotte dai raggi tramandati dai corpi all' occhio con le modificazioni di questi corpi medesimi; e pensavano che il tatto fosse il senso che in certo modo istruiva l' occhio, e che ci aiutava a rettificare gli errori nei quali ci indurrebbe questo organo, se operasse da se solo. Ma nessuno meglio di Condillac (a) ha sviluppato i mezzi di cui il tatto si serve in questa specie di insegnamento, e conviene qui indicare questi mezzi, seguendo almeno in gran parte le tracce di quel celebre metafisico.

1210 Le prime lezioni ci vengono dai diversi moti che fa la mano, la quale ha pure la sua immagine nel fondo dell' occhio. Mentre essa si allontana da questo organo o vi si avvicina successivamente, gl' insegna a riferire a una maggiore o minor distanza, a un luogo piuttosto che a un altro, l' impressione che vien prodotta sulla retina, in conseguenza del sentimento che abbiamo di ciascuna situazione della mano, della direzione e della grandezza di ciascun moto che ella fa. Mentre una mano passa sull' altra, estende in certo modo sulla superficie di questa il colore di cui l' impressione è già nell' occhio; circoscrive questo colore entro ai suoi limiti, e fa nascere nell' anima la rappresentanza di un corpo figurato in tal modo. Quando poi noi tocchiamo diversi oggetti, la mano dirige l' occhio sulle diverse parti di ciascuno di essi, e gliene rende sensibili tutte le particolari disposizioni; e agisce continuamente, in riguardo dell' occhio, per mezzo dei raggi della luce, come se tenesse una delle estremità d' un bastone che con l' altra toccasse il fondo dell' occhio, e conducesse successivamente questo bastone su tutti i punti dell' oggetto. Sembra che la mano avvisi l' occhio, che il punto che essa tocca è l' estremità del raggio che lo colpisce; e così percorre tutta la superficie dell' oggetto, e sembra rilevarne la vera figura. Ora curvata uniformemente sulla superficie d' un globo, di cui abbraccia il contorno per ogni verso, indica la distinzione della luce e delle ombre, e imprime in certo modo la rotondità e il rilievo a ciò che l' occhio scorge; ora obbligata a variare la sua propria figura, mentre si modella alternativamente sulle facce e sui canti d' un corpo angolato, fa rilevare all' occhio stesso le diverse situazioni e l' assortimento dei piani che ne compongono la superficie.

Dacchè gli occhi sono istruiti, l' esperienza acquistata li rende ca-

(a) *Traité des sensations.*

paci di agire ancora senza il tatto; e la sola presenza degli oggetti produce nuovamente le stesse sensazioni, nell' occasione di impressioni simili che fanno sull' organo i raggi tramandati da questi oggetti.

1221 Dicemmo già (§. 1217) che l' immagine di ciascun oggetto si dipinge in fondo dell' occhio in una situazione rovesciata; dal che alcuni fisici famosi hanno concluso, che ciascuno vedeva naturalmente tutti gli oggetti in questa medesima situazione; ma ognuno facilmente si accorge quanto poco è fondata questa conseguenza, se considera che noi vediamo il nostro proprio corpo, che ha la sua immagine rovesciata sulla retina, come quella degli altri oggetti; sicchè il solo sentimento che noi abbiamo della nostra situazione, produce la sensazione che ci fa vedere tutti gli oggetti diritti.

Mentre il tatto istruisce l'occhio a riferire al di fuori di se le immagini degli oggetti, e a rilevarne le forme, lo esercita ancora sul giudizio relativo alla loro situazione nello spazio, alla loro grandezza e alle loro distanze; e quando queste distanze son maggiori di quelle a cui si estendono i moti della mano, noi vi suppliamo con un altro esercizio, che consiste nell'avvicinarci all' oggetto fino a toccarlo, e quindi allontanandoci dal medesimo, e in tal modo giudichiamo molto approssimativamente della sua distanza, dall' estensione dei moti che facciamo verso di esso, o per il verso contrario Quando poi la distanza supera eccessivamente quella a cui si estendono i nostri moti ordinarii, i rapporti che siamo esercitati a rilevare, ci servono come di regola per applicare ad oggetti più lontani le impressioni che proviamo; ma a misura che cresce l' allontanamento, le circostanze divengono sempre meno favorevoli a queste applicazioni; e passato un certo termine, gli oggetti ci si presentano sotto apparenze più o meno ingannatrici, che inducono in quelle specie d' errori che si chiamano *inganni ottici*, e di cui parleremo in seguito. Sviluppiamo meglio questo importante argomento, e cerchiamo di seguir l' occhio dagli spazii in cui è diretto da una specie di memoria delle lezioni che ha ricevute dal tatto, fino alle vaste regioni nelle quali si inoltra, molto al di là della sfera che ha percorso col tatto sua guida.

Valutazione della distanza.

1222. Quando noi guardiamo un oggetto, v' è sempre un punto di esso su cui ci fissiamo più particolarmente che sugli altri, e verso il quale si dirigono i due assi ottici, dimanierachè questo medesimo punto diviene il vertice dell' angolo che essi formano fra loro. A misura che un oggetto si avvicina a noi o se ne allontana, ossia a misura che ci avviciniamo ad esso o ce ne allontaniamo, gli occhi fanno

moti continui per variare la loro figura e la loro situazione, finchè i due assi ottici coincidano sempre sopra uno stesso punto dell'oggetto. Quando queste distanze sono di quelle che possiamo misurare con i moti della nostra mano, o andando a toccare l'oggetto, il sentimento che noi abbiamo dei moti che fanno nel tempo stesso i nostri occhi per dirigersi verso l'oggetto, ci fa contrarre l'abitudine di giudicare delle distanze dalle impressioni che accompagnano questi moti, e nel tempo stesso di conoscere la situazione dell'oggetto (*a*); quindi è che la mano va direttamente all'oggetto che vogliamo toccare o prendere, se si trova dentro i limiti proporzionati all'estensione dei nostri moti ordinarii. Arriviamo ancora a colpire con sicurezza, con l'estremità d'un bastone che teniamo in mano, un oggetto situato ad una certa distanza; ma quando ci serviamo d'un occhio solo per guardare fissamente l'oggetto, allora non avendo più luogo il punto di concorso dei due assi ottici, molto più difficilmente possiamo giudicare della situazione dell'oggetto stesso, come può verificarsi per mezzo della seguente esperienza (*b*). Si sospende un anello all'altezza dell'occhio per mezzo d'un filo finissimo, in modo che non se ne possa vedere l'apertura: si prende quindi un bastone lungo un metro, all'estremità del quale si attacca trasversalmente un altro bastone più corto: allora, chiudendo un occhio, si tenta d'infilare l'anello col bastone più corto, ma non riesce quasi mai; mentre riesce quasi sicuramente, servendosi di ambedue gli occhi.

1223. Appunto perchè ciascuno degli assi ottici è sempre esattamente diretto verso il punto dell'oggetto su cui fissiamo particolarmente l'occhio, quando non abbiamo bisogno, relativamente a questo oggetto, che d'una semplice dirittura, come quando il cacciatore mira all'animale contro cui vuol tirare, chiudiamo un occhio, per conoscer meglio la direzione sulla quale si trova l'oggetto.

UNITA' DELL' IMPRESSIONE PRODOTTA NEI DUE OCCHI.

1224. Quantunque ciascun oggetto che si trova davanti ai nostri occhi abbia la sua immagine in tutti e due, nondimeno non vediamo gli oggetti doppii, perchè avendo riconosciuto per mezzo del tatto che un tal oggetto è semplice, mentre dirigiamo verso di esso i due assi ottici, e le sue due immagini si dipingono sopra parti corrispondenti delle retine, abbiamo associata l'idea d'unità d'oggetto al sentimento delle

(*a*) Mallebranche, *Recherches de la Verité*, t. I, p. 115 e 119.
(*b*) Musschenbroeck, *Essai de Physique*, t. II, p. 568, n.° 1211.

stesse impressioni, e ci siamo avvezzati a identificare due sensazioni che si trovano per così dire all'unisono una dell'altra. Ma se gli assi ottici non concorrono verso lo stesso punto, come quando stringiamo un occhio alquanto per parte con la mano, l'oggetto comparisce doppio, ed è chiaro che in tal caso le due immagini non cadono più su parti corrispondenti delle retine (*a*).

VALUTAZIONE DELLA GRANDEZZA.

1225. Bisogna osservare un altro angolo, che è importantissimo relativamente ai fenomeni della visione: esso è formato dai due raggi, che partendo dalle estremità dell'oggetto vengono a incrociarsi nella pupilla, e si chiama *angolo visuale*.

Dietro a questo se ne forma un altro che nasce dai medesimi raggi refratti a traverso del cristallino e degli altri umori dell occhio: questo angolo sottende il diametro dell'immagine sul fondo dell'occhio, ed è chiaro che cresce e scema contemporaneamente al primo; e quando ambedue son molto acuti, gli aumenti e le diminuzioni tanto di essi quanto del diametro dell'immagine, sono sensibilmente in ragione inversa delle distanze dell'oggetto dall'occhio.

1226. Intanto la grandazza degli oggetti può concepirsi sotto due diversi rapporti: le vere dimensioni dell'oggetto, considerato in se stesso, indicano ciò che si chiama *grandezza reale*, e l'apertura dell'angolo visuale determina la grandezza *apparente*; e quindi è chiaro che la grandezza reale essendo una quantità costante, la grandezza apparente varia al variar della distanza.

1227 Se giudicassimo sempre delle dimensioni di un oggetto dalla sua grandezza apparente, tutto ciò che è intorno a noi varierebbe continuamente in quanto alla visione, e saremmo strascinati in moltissimi inganni. Per esempio un gigante di ventiquattro decimetri, visto dalla distanza di quattro metri, non ci sembrerebbe maggiore di un nano di sei decimetri, veduto alla distanza di un metro, poichè li vedremmo ambedue sotto lo stesso angolo.

(*a*) Si può produrre un' illusione dello stesso genere, che abbia la sua origine nel senso del tatto. Se si accavalli il dito medio della mano sull'indice, in modo che il medio venga un poco verso il pollice, e posta una piccola pallina sotto le estremità delle medesime dita, si prema per metterla maggiormente a contatto con esse, ci parrà di sentire due palline. In questo caso il dito che è stato tolto dalla sua situazione naturale, esercita un'azione che non essendo più d'accordo con quella dell'altro dito, produce una sensazione che sembra riferirsi a un nuovo oggetto; sicchè potrebbe dirsi che chi fa tale esperienza è guercio in quanto alle dita.

Ma le esperienze che abbiamo fatte col soccorso del tatto sul paragone delle distanze e delle grandezze, ci hanno messi in stato di rettificare le nostre idee nelle circostanze in cui è più importante evitare l'inganno, cioè quando dobbiamo giudicare di oggetti a noi vicini; poichè in tal caso la distanza di cui giudichiamo con molta esattezza, entra come dato nella nostra valutazione e ci impedisce di concepire un'idea falsa, che resulterebbe dalla considerazione isolata delle grandezze.

Così le diverse situazioni degli occhi, analoghe alla variazione degli angoli formati dagli assi ottici, secondo che gli oggetti son più vicini o più lontani, riproducono in noi l'impressione della distanza, come il tatto ci insegnò a conoscerla; e questa impressione si unisce con quella della grandezza apparente, o dell'estensione che l'immagine occupa nel fondo dell'organo, dimanierachè la sensazione che ci rappresenta la grandezza reale, è come il prodotto di questi due elementi. Per esempio quando un gigante di ventiquattro decimetri, che era in principio a due metri di distanza, si trasporta alla distanza di quattro metri, per una parte la sua immagine è scemata della metà nel fondo dei nostri occhi, ma per un'altra la distanza si trova raddoppiata; e la specie di combinazione che si fa in noi delle due impressioni, una relativa alla grandezza, l'altra relativa alla distanza, che corrispondono a ciascuna situazione del gigante, equivale per così dire al prodotto costante di due quantità, delle quali una cresce in proporzione che l'altra scema; dal che resulta che il gigante ci comparisce sempre della stessa altezza.

1228. Da quanto abbiamo detto concluderemo ancora, che quando due oggetti diseguali son posti alla medesima distanza, giudichiamo delle loro respettive grandezze dal rapporto fra gli angoli visuali relativi all'uno e all'altro, o fra le grandezze delle loro immagini in fondo dell'occhio; poichè allora i due prodotti che resultano dall'impressione della distanza combinata con quella della grandezza, hanno una quantità comune, cioè la prima impressione, a cui si può sostituire l'unità, sicchè essi sono proporzionati all'altra quantità, che è l'impressione della grandezza.

Giudizii relativi agli oggetti lontani.

1229. Finchè gli oggetti sono a così piccola distanza, che gli angoli formati dagli assi ottici sieno abbastanza sensibili da poter esser paragonati, i moti dei nostri occhi, relativi a questi angoli, ci aiutano ancora a rappresentarci con una certa giustezza le distanze, e nel tempo stesso le grandezze, la cognizion delle quali dipende in gran parte da quella delle distanze: ma quando per effetto di troppa lontananza degli oggetti,

gli angoli son tanto piccoli che non possono esser paragonati fra loro, le grandezze giudicate dipendono in gran parte dalle grandezze apparenti: quindi un oggetto molto lontano ci comparisce molto più piccolo di quello che è realmente.

1230. Gli oggetti ci sembrano ancora o più vicini o più lontani, secondo che sono più o meno illuminati, e secondo che li vediamo più o meno chiari e distinti. Fondati su questo e sul precedente principio i pittori scemano le dimensioni delle figure, secondo che gli oggetti rappresentati da esse devono comparir più lontani, e nel tempo stesso ne esprimono i contorni con tinte più deboli, e talora questi contorni medesimi sono da loro abbozzati tanto leggermente, che sembra che si perdano nel colore del fondo, quando si suppone grandissima la distanza.

Finalmente quando fra un oggetto e noi si trovano molti altri oggetti, questa nuova circostanza ci aiuta ancora a giudicare della distanza del primo oggetto, per mezzo di una specie di somma che facciamo di tutte le distanze degli oggetti intermedii, per comporne una distanza totale; dal che resulta che allora un oggetto ci sembra più lontano, che quando lo spazio che ci separa da esso è privo d'altri corpi, che ci aiutino in certo modo a sommare tutte le parti della distanza.

Esempii in conferma delle precedenti considerazioni.

1231, Per confermare tutto ciò che abbiamo detto sul proposito della visione, aggiungeremo qui uno o due esempii, che provino fino a qual punto l'occhio è nuovo nell'arte di vedere, quando si apre per la prima volta alla luce. Un giovane di 13 anni, al quale Cheselden aveva fatta l'operazione della cataratta (*a*), era tanto incapace di giudicare delle distanze, che credeva che tutti gli oggetti fossero a contatto con i suoi occhi (così si esprimeva egli stesso), come le cose che maneggiava toccavano la sua pelle. Gli oggetti più piacevoli per lui erano quelli di superficie unita e di forma regolare, quantunque non potesse dare alcun giudizio sulla forma di quelli, nè indicare la ragione per cui gli piacevano più degli altri. Passarono più di due mesi prima che egli potesse riconoscere che i quadri rappresentavano corpi solidi, giacchè fin allora egli non gli aveva considerati che come piani diversamente colorati; ma quando cominciò a distinguere i rilievi delle figure, si aspettava, toccando la tela, di trovara in fatti corpi solidi, e fu una vera maraviglia

(*a*) La cataratta è una privazione della vista, prodotta dall'opacità del cristallino. Per rendere all'ammalato la facoltà di vedere, bisogna levare il cristallino stesso dal posto in cui si trova, o abbassandolo o estraendolo.

per lui, quando passando con la mano su quelle parti, che per la distribuzione della luce e dell'ombre gli parevano rotonde e disegnali, le trovò piane ed unite come il resto; e quindi domandò se il suo inganno derivava dalla vista o dal tatto. Gli fu mostrato in miniatura il ritratto di suo padre, e disse che ne riconosceva benissimo l'immagine, ma domandava con gran maraviglia, come era possibile che un viso così largo potesse contenersi in sì piccolo spazio, e che ciò gli pareva tanto impossibile quanto il far contenere in una pinta una botte (a).

La stessa operazione fatta dal Dott. Grant a un cieco in età di 20 anni presentò simili circostanze. Quando gli occhi di questo giovane furono colpiti per la prima volta dai raggi della luce, fu osservata sulla sua persona l'espressione di una sorpresa straordinaria. L'operatore era davanti a lui con i suoi strumenti in mano: il giovane lo esaminava dal capo ai piedi, esaminava quindi se stesso, quasi paragonando la propria figura con quella che aveva davanti agli occhi, e tutto gli sembrava simile, eccettuate le mani, perchè riguardava gli strumenti del chirurgo come parti delle sue mani. Volle fare un passo, e parve che tutto ciò che aveva intorno lo spaventasse: non poteva accordare le sensazioni che provava per parte della vista, con quelle che gli stessi oggetti avevano prodotte in lui per mezzo del tatto, e soltanto a grado a grado potè distinguere e riconoscere le forme, i colori e le distanze (b).

Degl' inganni ottici.

1233. Quando gli oggetti sono al di là dei limiti delle nostre ordinarie osservazioni, ci inganniamo, come abbiamo veduto, nel giudicare delle loro grandezze e delle loro distanze. Un'altra causa d'errore per noi in questo genere di giudizi, è la diversità di situazione in cui ci compariscono i corpi, per effetto o dei moti che li trasportano nello spazio, o di quelli che facciamo noi stessi. Son varie ed estesissime le circostanze da cui nascono questi errori, che chiamiamo *inganni ottici*, le quali si estendono fino ai vasti corpi che si muovono negli spazii celesti; e l'ipotesi relativa alla loro influenza sulla maniera con cui molti fenomeni planetarii si presentano alla nostra osservazione, è divenuta la base di una teoria che riduce alla massima semplicità questi fenomeni, che erano tanto difficili a spiegarsi per coloro che volevano vedere realtà dove non è che sola apparenza. Diamo dunque la spiega-

(a) *Philosophic. Transact.*, n.° 402.
(b) *Gazette littéraire de l'Europe*, 21 Marzo, 1764.

zione di alcuni di questi inganni, scelti fra quelli che sono più comuni per noi, e che meritano più d'essere osservati.

INGANNI PRODOTTI DA OGGETTI IMMOBILI.

1234. Ognuno sa che trovandosi in cima ad un lungo viale, le due file d'alberi che lo adornano da una parte e dall'altra sembrano convergere fra loro, e qualche volta, se il viale è lunghissimo, sembra perfino che all'altra estremità sieno a contatto: in tal caso gl'intervalli fra due alberi corrispondenti sottendono angoli visuali che vanno sempre scemando, e finalmente a una grandissima distanza sono insensibili. Quindi è che sul piccolo quadro che è in fondo dell'occhio, le immagini degli alberi sono situate sopra due linee inclinate fra loro, e concorrono in un punto comune, ossia gl'intervalli fra le immagini degli alberi corrispondenti scemano gradatamente in modo, che l'ultimo intervallo è quasi nullo. Se dunque supponiamo che i due assi ottici si dirigano successivamente verso differenti alberi sempre più lontani, la variazione di questi angoli, e nel tempo stesso quella dell'impressione della distanza, diverrà sempre meno sensibile; e in conseguenza l'impressione della grandezza, che in questo caso dipende dall'intervallo degli alberi corrispondenti, sarà tanto predominante, che da se sola formerà il carattere della sensazione, dimanierachè due linee esattamente parallele ci compariranno sotto l'aspetto di due linee convergenti. Per una simile cagione, a chi passeggia in una lunga galleria, il palco sembra alquanto abbassarsi, e alzarsi il terreno.

1235. Se l'occhio non vegga che un sol piano, come una superficie d'acqua estesissima in lunghezza, questo piano comparirà elevato nei punti più lontani dallo spettatore; poichè in tal caso si paragona questo piano con la linea di livello che passerebbe per l'occhio, e che fa le veci d'un secondo piano, al quale sembra che il primo si avvicini, perchè scemano gli angoli visuali che partono dai punti corrispondenti sopra ambedue i piani.

1236. Se lo spettatore è alla base d'un'alta torre di cui guarda la cima, gli sembrerà che la torre penda verso di lui, poichè paragona la situazione di essa con una verticale che passerebbe per l'occhio; e così questa linea verticale e l'altezza della torre sono due parallele che devon tendere in apparenza a riunirsi verso l'alto. In queste specie di casi la linea verticale e la linea orizzontale sono come i limiti ideali, a cui l'occhio riferirà gli angoli visuali, un lato dei quali è sempre una o l'altra di queste linee. Così quando vogliamo giudicare a occhio dell'in-

clinazione d'una linea situata nello spazio, la paragoniamo con un'orizzontale o con una verticale immaginaria, che passa per una delle estremità della linea data.

Quando ci troviamo a una certa distanza da una salita, essa ci sembra più lunga di quello che ci sembrerebbe se la strada fosse a livello con l'orizzonte, come apparisce dalla *fig.* 74, in cui *mn* rappresenta la situazione inclinata del terreno, e nel tempo stesso la sua lunghezza, *mn'* la sua lunghezza se fosse orizzontale, e *nom*, *n'om* gli angoli visuali analoghi alle due situazioni.

1237. Con i medesimi principii si potranno spiegare tanti altri inganni ottici, che ogni giorno si presentano anco al meno attento osservatore. Per esempio, se egli si trova in faccia al mezzo di una lunga linea lontanissima, la vedrà inclinata a destra e a sinistra, in modo che gli parrà una porzione di curva, l'asse della quale passerebbe per il suo occhio. Se ha in faccia un poligono regolare alquanto esteso, i lati situati parallelamente alla superficie del suo corpo gli sembreranno maggiori di quelli che sono obliqui, e il poligono diverrà irregolare in apparenza.

Nozione della prospettiva.

1238. Da quanto abbiamo detto possiamo dedurne alcune osservazioni generali sulla prospettiva. L'oggetto di questa scienza è di rappresentare sopra un piano corpi di qualunque forma. Se, per maggior semplicità, supponiamo che il corpo di cui vogliamo disegnare l'immagine sia terminato da facce piane, le figure di queste facce appariranno necessariamente diverse da quelle che apparirebbero sul corpo stesso. Per esempio, se si debba rappresentare un cubo, potrà darsi la figura di quadrato a una delle facce dell'immagine; ma le due facce adiacenti che insieme con la prima formano un angolo solido, saranno evidentemente quadrilateri di figura diversa, poichè la somma dei tre angoli piani di cui è formato l'angolo solido, considerati nell'immagine, deve essere equivalente a quattro angoli retti, mentre sul solido equivale a tre solamente. Non ostante questa differenza, non è difficile assortire le linee in modo da formare una certa illusione, e presentare all'occhio un'immagine fedele dell'oggetto originale.

Per intendere la ragione di quest'illusione, supponiamo un cubo situato nello spazio, in un modo determinato relativamente all'occhio dello spettatore, e supponiamo inoltre che un tal cubo sia trasparente. Da quanto abbiamo detto sulla maniera con cui si esercita la visione resulta, che gli assi dei diversi pennelli della luce, tramandati da tutti

i punti del cubo, e che sono le sole linee di cui noi abbiamo bisogno in questo caso, dopo essersi incrociati nel foro della pupilla, formeranno una specie di piccola piramide, con la base nel fondo dell'occhio, dove essa produrrà l'immagine del cubo. Supponiamo ora fra l'occhio e il cubo un piano o quadro trasparente, a traverso del quale passino tutti gli assi che vanno dai diversi punti del cubo all'occhio, lasciandovi la loro impronta, e figuriamoci che allora il cubo sparisca. L'immagine formata dall'unione di queste impronte, diverrà l'oggetto immediato della visione; e poichè tutti i punti di questa immagine tramanderanno all'occhio raggi diretti come quelli che partivano immediatamente dal cubo, la copia presentata dal suddetto quadro trasparente, farà nascere nel fondo dell'occhio impressioni simili a quelle che aveva prodotte la presenza dell'oggetto originale Questa copia è quella appunto che si chiama *prospettiva del cubo*. Da ciò si rileva, come questa copia, il disegno della quale è sul passaggio dei raggi che verrebbero dai diversi punti d'un cubo, deve imitare questo solido tanto fedelmente quanto è possibile per parte del livello del piano, che serve di tela al quadro trasparente. La geometria insegna le regole per segnare le linee che compongono come il disegno di queste specie di ritratti; e quando a questo disegno, che ha già per se stesso un carattere deciso di verità, l'arte della pittura aggiunga la distinzione delle ombre e della luce, e la magia del colorito, dal concorso di tutte queste cose resulta per l'occhio la più sorprendente e la più piacevole illusione.

Causa della grandezza, che sembra che abbia la Luna quando sorge.

1239. Uno dei più singolari inganni ottici è quello che ci fa credere la luna più grande quando sorge, che quando è a una certa altezza sull'orizzonte; e forse ognuno ha osservato la diversità di diametro di questo astro nelle due indicate circostanze. Per comprenderne la ragione bisogna partire da questo principio, che noi vediamo il cielo in forma di una volta ad arco schiacciato. Sia T (*fig.* 75) la metà del globo terrestre elevata sopra l'orizzonte $u\,x$; sia $u\,y\,t\,x$ la metà del cerchio che percorre la luna col suo moto diurno, e $a\,c\,g\,b$ la metà corrispondente della curva che termina l'atmosfera (*a*): i diversi strati di cui

(*a*) Per maggior facilità abbiamo rappresentata qui l'atmosfera più estesa di quello che è realmente; ma il vero stato delle cose rende ancor più facile la spiegazione.

questa è composta, reflettono a preferenza i raggi celesti della luce del sole, e questi raggi, tramandati verso i nostri occhi, ci fanno vedere l'atmosfera di questo medesimo colore. La superficie *acgb*, che è come il limite fin dove si estendono tutte queste reflessioni, diviene altresì ai nostri occhi come una volta, alla quale sembrano attaccati tutti gli astri. Supponiamo un osservatore posto nel punto *o*, e conduciamo per questo medesimo punto un piano *poi* parallelo ad *ux*. Lo spettatore, perchè la curva della terra è insensibile, sarà nello stesso caso come se questo piano esistesse realmente, e così la volta celeste si ridurrà nel suo giudizio all'arco *dcge*, che è posato sul medesimo piano; e quindi egli vedrà i punti estremi *d*, *e* di questa volta molto più lontani del punto più alto *l*.

Dall'altra parte gli oggetti che sono frapposti fra noi e la luna, quando questo astro è sull'orizzonte, contribuiscono ancora ad accrescere la distanza apparente dei punti *d*, *e*, relativamente allo spettatore (§. 1230), e a scemare la curva che egli attribuisce alla volta celeste.

Supponiamo che *flh* sia una sezione di questa volta, quale ce la rappresentiamo per effetto delle due cause citate. Poichè gli archi *pu*, *ix* si riguardano come piccolissimi, per la gran lontananza a cui si trova la luna relativamente a noi, il momento in cui il suo centro giunge in *n*, può riguardarsi senza errore sensibile come il momento del suo sorgere. Lo spettatore allora la vede sotto l'angolo *por*, e la riferisce in L alla distanza *of*. Quando poi la luna è giunta in *z*, cioè al meridiano, lo spettatore la vede pure sotto lo stesso angolo *p'or*, ma la riferisce in *l*, cioè a un punto molto più vicino ad esso. Quantunque l'immagine della luna occupi sempre il medesimo spazio nell'occhio dello spettatore, quando egli vede questo astro a una distanza minore lo giudica ancora più piccolo, quasi nel rapporto della linea *ol* alla linea *of*; poichè allora i due prodotti che resultano dall'impressione della grandezza combinata con quella della distanza (§. 1227), avendo una quantità comune, che è la prima impressione, sono in qualche maniera proporzionati alla seconda, e così ci formiamo un'idea delle grandezze reali, dedotta dal rapporto fra le distanze apparenti.

1240. Mallebranche, autore in gran parte di questa spiegazione, l'ha verificata per mezzo di un'esperienza semplice e facile a ripetersi, la quale consiste nel guardar la luna, quando è sull'orizzonte, a traverso di un vetro affumicato: con questo mezzo essa non apparisce più grande che quando è sul meridiano, purchè il vetro si ponga tanto vicino all'occhio da ecclissare interamente tutti gli altri oggetti, e da non lasciarci alcun mezzo di giudicare delle distanze (a).

(a) *Recherche de la Vérité*, t. I. p. 127, e t. III, p. 159. e seg.

1241. Un'altra sorgente non meno feconda d'inganni ottici, è un moto nei corpi che li producouo. Figuriamoci primieramente un oggetto immobile, e uno spettatore che si muova, per esempio, da sinistra a destra, ma in un modo per se stesso insensibile: in tal caso, poichè l'oggetto si trova sempre più a sinistra relativamente allo spettatore, l'occhio di questo riceverà la stessa impressione, come se, essendo immobile, avesse visto muoversi il corpo da destra a sinistra: in generale quando ci muoviamo senza accorgercene, riferiamo i nostri moti in parti contrarie ai corpi che ci circondano. Così quando stiamo fermi in una barca che si muove, vediamo gli alberi, le fabbriche, e qualunque altro oggetto avvicinarsi a noi, passarci davanti, o allontanarsi, secondo che la barca è trasportata con moti contrarii; e ciò faceva dire ai naviganti di Virgilio (*a*), che nell'uscire dal porto, le terre e le città si allontanavano dai loro occhi.

1242. Supponiamo che lo spettatore credendosi sempre in riposo, faccia un moto rappresentato da AB (*fig.*76), mentre un oggetto situato a una certa distanza percorre ab. In tal caso Af sarà il raggio visuale, sulla direzione del quale lo spettatore vedrà l'oggetto al principio del moto, e Bd quello sulla direzione del quale egli lo vedrà al termine del moto. Dunque se le situazioni relative e le lunghezze delle linee AB, ab son tali che i due raggi si incrocino in qualche punto c, sembrerà allo spettatore che l'oggetto abbia fatto un moto da sinistra a destra, o da f verso d, cioè in direzione contraria al moto reale nella direzione ab.

Per rendere più sensibile questa spiegazione, possiamo supporre che nel primo istante del moto, lo spettatore guardi l'oggetto situato in a, per mezzo d'un cannocchiale diretto per An: lasciando quindi il cannocchiale nella stessa situazione per tutto il tempo del moto, quando l'oggetto sarà giunto in b, il cannocchiale sarà diretto per Bn parallela ad Aa. Allora per vedere di nuovo l'oggetto, lo spettatore è obbligato a porre il canocchiale nella situazione Bb, cioè a farlo girare da sinistra a destra; per la qual cosa giudica che l'oggetto si è mosso dalla stessa parte.

1243. Figuriamoci ora che lo spettatore percorra AB (*fig.*77), mentre l'oggetto si muove per ab situato al contrario di AB. Se lo spettatore fosse immobile, i raggi visuali relativi ai due termini estremi del moto dell'oggetto, sarebbero Aaf e Abr, dimanierachè lo spettatore giudicherebbe della grandezza di questo moto dall'apertura dell'angolo bAa; ma perchè egli stesso ha percorso AB, i due raggi visuali saranno

(*a*) *Provehimur portu, terraeque urbesque recedunt.* AEn., lib. III, v. 72.

Af e Bd, e l'angolo da cui lo spettatore dedurrà la grandezza del moto sarà dcf, o il suo eguale AcB, maggiore dell'angolo bAc che sarebbe l'angolo nel caso in cui lo spettatore fosse immobile, poichè è eguale alla somma degli angoli b Ac + A bc. Dunque lo spettatore giudicherà il moto dell'oggetto più rapido del vero, perchè riferendo il suo proprio moto lungo AB, in una direzione B A dalla stessa parte di quella del moto dell'oggetto, gli attribuisce un'accelerazione che in sostanza non gli appartiene. E se in questo caso ancora lo spettatore facesse uso d'un cannocchiale per guardare l'oggetto, questo cannocchiale posto in principio nella direzione Af, alla fine del moto essendo posto nella direzione Bn parallela ad Af, si volterebbe descrivendo l'angolo nBd molto maggiore dell'angolo fAr, che sarebbe l'angolo nel caso in cui lo spettatore fosse restato immobile.

1244. Supponiamo finalmente che il moto A B (*fig.* 78) dello spettatore e il moto ab dell'oggetto sieno per lo stesso verso, e che le direzioni di queste due linee sulle quali si eseguiscono questi moti, sieno talmente combinate con i tempi impiegati a percorrere queste linee, che i raggi visuali Aa, Bb relativi ai due termini estremi di moto, e tutti gli altri raggi che si riferiscono ai punti intermedii, sieno continuamente paralleli fra loro: in tal caso l'oggetto comparirà immobile allo spettatore, il quale si immagina d'essere in riposo egli stesso; e ognuno comprende facilmente, che egli vedrebbe costantemente questo oggetto all'estremità d'un cannocchiale che restasse nella medesima situazione.

Per mezzo dell'ipotesi di uno spettatore, che muovendosi insensibilmente riferisce ad oggetti immobili il suo moto, ma in direzione opposta, è stato spiegato il moto diurno apparente del sole, in conseguenza del moto reale che fa girare la terra intorno al suo asse: in egual modo può dedursi dallo stesso principio la spiegazione del moto annuo che ci sembra che il sole abbia sull'eclittica. Dalle altre ipotesi relative ai moti contemporanei dello spettatore e di un oggetto che egli vede, è stata dedotta la vera causa dei disordini apparenti che osserviamo nei moti periodici dei pianeti, secondo che crediamo di vedere questi astri o retrocedere nelle loro orbite, o accelerare il loro moto, o finalmente restare stazionarii per un certo tempo (a).

1245. Quando camminiamo osservando un oggetto lontanissimo da noi, e in quiete, o in moto insensibile per noi, ci sembra che esso corra con noi, e dalla stessa parte, come ci accade per esempio quando

(a Vedasi la spiegazione di questi fenomeni nel Trattato elementare d'Astronomia fisica di Biot, p. 530.

camminando guardiamo la luna. Il raggio visuale, diretto sempre verso questo astro, fa in tal caso angoli sì piccoli con esso, a misura che cambia situazione, per cagione dell'immensità della distanza, che le sue direzioni sono sensibilmente parallele fra loro, sicchè ci sembra che la luna si muova sull'estremità di questo raggio; e poichè abbiamo il sentimento del moto che fa l'occhio, dal quale parte il raggio stesso, attribuiamo un moto simile alla luna

Fenomeno dell' Aberrazione.

Dicemmo (§. 1010) che dal moto progressivo della luce, combinato con quello della terra nella sua orbita, era stata dedotta la spiegazione del fenomeno chiamato *aberrazione delle stelle*, del quale conviene qui dare la spiegazioue, perchè si riduce ad un semplice inganno ottico.

1246. Erano stati osservati nelle stelle fisse certi piccoli moti, che alcuni astronomi quasi credevano di dover riguardare come un'apparenza unicamente prodotta dal moto della terra nella sua orbita. Scegliamo il caso più semplice, che è quello in cui la stella che prendiamo per esempio, fosse situata al polo dell'eclittica, e supponiamo che la congettura dei citati astronomi abbia qualche fondamento. In questa ipotesi, in cui l'osservatore riferirà alla stella il suo proprio moto, insensibile per se stesso, è chiaro che i suoi diversi raggi visuali, diretti costantemente verso la stella, formeranno un cono, la base del quale sarà l'eclittica, e il vertice coinciderà con la stella. Gli stessi raggi prolungati formeranno sopra la stella un altro cono opposto al primo col suo vertice; e l'osservatore riferendo continuamente la stella sulla direzione del prolungamento di quelli, crederà vederla descrivere nel cielo un piccolo circolo, in modo che la stella gli sembrerà sempre nel punto di questo circolo diametralmente opposto al punto dell'eclittica che occuperà egli stesso.

Ma le stelle fisse sono a tal distanza dalla terra, che l'angolo formato dai due raggi visuali, i quali partendo dalle due estremità del diametro dell'eclittica, anderebbero a passare per uno di questi astri, e che si chiama *angolo della parallasse annua*, è così piccolo che è quasi invisibile; sicchè questa causa non può produrre nella stella veruna apparenza sensibile di moto: ma il fenomeno che realmente si osserva è totalmente diverso, poichè la stella in vece di comparire nella parte del suo circolo annuo, opposta a quella dell'eclittica nella quale si trova l'osservatore, è a 90° al di qua, dimanierachè la stella ritarda sempre di questo medesimo numero di gradi, relativamente al moto che

avrebbe in virtù della parallasse. Inoltre l'angolo formato dal raggio visuale diretto verso la stella, con la linea che passa per il centro del circolo in cui è la vera situazione della stella medesima, è di 20''; e però il diametro del circolo che essa sembra descrivere nel corso d'un anno è di 40''.

1247. Bradley che aveva osservato con molta assiduità tutte le circostanze di questo moto apparente delle stelle fisse, scoprì finalmente la vera spiegazione del fenomeno, di cui gli suggerì l'idea uno di quei tratti di genio, che fanno epoca nella storia delle scienze. Ma prima di dare questa spiegazione, bisogna stabilire il principio che le serve di base.

Supponiamo che un raggio di luce, partendo dal punto raggiante *a* (*fig.* 79), venga a colpire un occhio situato in *m* in una direzione *am*, e con una celerità rappresentata da questa linea: supponiamo inoltre che nel momento in cui l'occhio è colpito da questo raggio si muova esso pure in una direzione *mf*, e rappresentiamo con *mn* lo spazio che esso percorre in ciascun istante eguale a quello che il raggio impiega a percorrere *am*. L'occhio ricevendo in *m* il raggio *am*, lo urterà esso medesimo con l'intensità della sua propria velocità, misurata da *mn*, e lo spettatore crederà di ricevere l'impressione da un moto che gli fosse impresso nella direzione opposta *nm*, con una celerità rappresentata da questa linea; e con un poco di attenzione si comprenderà che questa impressione apparente accaderebbe ancora se il raggio fosse immobile nello spazio. Ma dall'altra parte l'occhio riceve realmente l'impressione del moto che aveva il raggio nella direzione *am*; e quindi se si compia il parallelogrammo *muda*, le due impressioni si comporranno in modo, che l'occhio sarà nello stesso caso, come se il raggio della luce fosse venuto ad urtarlo nella direzione della diagonale *dm*. Da ciò si conclude che l'occhio vedrà il punto raggiante *a* su questa medesima direzione.

Da quanto abbiamo detto resulta, che se la celerità dei nostri moti ordinarii avesse con quella della luce un rapporto notabile, potremmo andare e venire senza riferire gli oggetti circostanti a situazioni diverse dalle vere. Ma poichè in questo caso la celerità della luce si riguarda come infinita, relativamente alla nostra, l'angolo *amd* essendo piccolissimo, la diagonale *md* coincide con la direzione reale *am* della luce, e non ne resulta verun cambiamento apparente di luogo per parte degli oggetti.

1248. Accade tutto l'opposto relativamente al moto rapido con cui la terra ci strascina, percorrendo la sua orbita annua, quando questo moto si combina con quello della luce che ci viene dalle stelle. Questo doppio moto ci fa vedere gli astri dove non sono, e produce quelle belle apparenze spiegate sì bene da Bradley.

Sia *a* (*fig.* 80) il luogo vero d'una stella fissa, che supponiamo sempre situata al polo dell'eclittica; sia *tnzm* la circonferenza di questo circolo, ed *n* il luogo dello spettatore. Mentre l'occhio di questo è colpito da un raggio *an* partito dalla stella, esso medesimo lo urta in modo, che relativamente allo spettatore l'impressione si trasforma in quella che riceverebbe, se il suo occhio fosse colpito nella direzione *rn*, che coincide con la tangente nel punto *n*. Figuriamoci che *an*, *nr* sieno fra loro in un rapporto eguale a quello che passa fra la velocità della terra nella sua orbita, e compiamo il parallelogrammo *anrc*: in tal caso l'occhio vedrà la stella come se fosse sulla diagonale *nc*, come resulta da quanto abbiamo detto poco fa. E poichè la velocità della luce sta a quella della terra nella sua orbita come 10313 : 1, così calcolando con questi dati il valore dell'angolo *anc*, si troverà di 20", resultamento conforme all'osservazione.

Ora se il moto della stella potesse essere l'effetto della parallasse, lo spettatore situato in *n* riferirebbe la stella sulla direzione della linea *na*, e quindi vedrebbe la parte che corrisponde a *d* sul diametro corrispondente del piccolo circolo annuo, che la stella medesima sembrerebbe descrivere nel cielo; ma la vede al contrario all'estremità *c* del diametro che taglia il precedente ad angolo retto. Lo stesso effetto si ripeterà finchè lo spettatore prosegue a muoversi nell'eclittica, e così la stella percorrendo il suo circolo di aberrazione *gcdb*, è sempre indietro, come abbiamo detto, 90°, relativamente alla situazione in cui si troverebbe, se la parallasse annua fosse la causa di queste deviazioni apparenti.

1249. Abbiamo ridotto il fenomeno al caso più semplice, cioè quando la stella essendo situata al polo dell'eclittica, tutti i raggi che essa tramanda allo spettatore sono perpendicolari alla direzione dell'occhio, sicchè la stella sembra descrivere un circolo, perchè la differenza fra i due diametri dell'ellisse che rappresenta l'orbita della terra, può trascurarsi in questo caso; e allora l'aberrazione è costantemente di 20". I moti apparenti delle altre stelle situate diversamente, producono ellissi più o meno bislunghe, in ciascuna delle quali l'aberrazione cresce e scema alternativamente, a misura che la stella si avvicina alle estremità dell'asse maggiore o minore della sua ellisse.

La spiegazione di questo fenomeno data da Bradley, mentre conferma la scoperta del moto progressivo della luce, è un argomento di più per provare il moto della terra intorno al sole; e in tal modo le verità acquistano una forza maggiore da quei resultamenti che ce le presentano concatenate fra loro.

DELLA FATA-MORGANA.

1250. I marinari hanno osservato da gran tempo, che in certe circostanze le navi alla vela presentano da lontano, oltre l'immagine ordinaria che è retta, un'altra immagine rovesciata; ed hanno chiamato questo fenomeno col nome di *fata-morgana*, che poi è stato applicato ancora ad un altro fenomeno assai più esteso, che accade sulla superficie della terra.

Monge, che nella sua lunga dimora in Egitto era stato tante volte testimone di questo fenomeno, doveva scoprirne la causa, e ce la indicò infatti nella reflessione dei raggi luminosi sulla superficie invisibile d'uno strato d'aria vicinissimo alla terra. Con questa spiegazione, tutto ciò che di straordinario presenta il fenomeno, non è che uno dei noti effetti delle leggi della luce. Cerchiamo infatti di dimostrarlo, seguendo l'idee di Monge stesso che ne ha lasciata un'eccellente descrizione; e quindi esamineremo il primo fenomeno che abbiamo citato, il quale è prodotto da un'azione diversa della medesima causa.

1251. Monge osserva primieramente, che per la produzione del fenomeno è necessario che l'osservatore sia in una vasta pianura, quasi tutta a un livello; che essa si prolunghi fino ai limiti dell'orizzonte; e che sia esposta al sole in modo da poter acquistare un alto grado di calore; circostanze tutte che si trovano riunite nel terreno del basso Egitto.

1252. Vediamo ora a quali segni si riconosce il fenomeno. Lo spazio sul quale apparisce, e che prima presentava all'occhio da ogni parte un suolo arido, fino a una certa distanza, comparisce terminato, a una lega incirca, da una inondazione generale. I villaggi che sono intorno ad essa, sembrano tante isole in mezzo a un gran lago: sopra ciascuno di essi se ne vede rovesciata l'immagine, come si vedrebbe sopra una superficie d'acqua reflettente, situata davanti ai medesimi, se non che, questa immagine essendo lontana, non si scorgono minutamente le parti, ma solamente le grandi masse: inoltre gli orli dell'immagine rovesciata sono alquanto incerti, quali appunto comparirebbero alla vista, se l'acqua supposta venisse alquanto agitata.

1253. A misura che un osservatore si avvicina ad uno dei villaggi che si trovano nell'inondazione, l'orlo dell'acqua apparente si allontana, e il lago si ristringe, e finalmente sparisce affatto, e il fenomeno che cessa per questo villaggio, si riproduce per un altro che si trova al di là del primo.

I viaggiatori che dopo un lungo e penoso cammino in un terreno aridissimo, scorgono il fenomeno, e si immaginano d'essere sul punto

di saziare quella sete che li divora, si trovano presto delusi, perchè quanto più si affrettano a giungere al sospirato oggetto, sel veggono fuggire davanti, e si accorgono che vanno dietro a un fantasma.

1254 Passando ora alla teoria del fenomeno, ricordiamoci che quando la luce passa da un mezzo in un altro più raro, ad angolo d'incidenza che va sempre scemando, v'è un punto in cui l'angolo di refrazione essendo retto, la direzione del raggio refratto coincide con la superficie di contatto di questi due mezzi, sicchè al di là di questo punto lo stesso raggio si eleva sopra questa superficie, facendo con essa un angolo di reflessione eguale all'angolo d'incidenza (§. 1046). Tale è il principio da cui parte Monge, e dal quale deduce la spiegazione seguente.

1255. Verso la metà del giorno, e sotto il grande ardore del sole, i raggi di questo astro cadendo sulla superficie del suolo, che fra poco diverrà il teatro del fenomeno, lo riscaldano a segno che lo strato d'aria a contatto con esso si eleva moltissimo in temperatura, si dilata, e la sua densità diviene sensibilmente minore di quella dello strato superiore. I raggi che arrivano dalle parti più basse del cielo, e che dopo aver penetrato nello strato denso, formano con la superficie superiore dello strato dilatato angoli tanto piccoli, che in vece di passare in questo strato, sono reflessi dalla medesima superficie, secondo il principio accennato di sopra, vanno a portare a un occhio posto nello strato denso l'immagine rovesciata delle suddette parti più basse del cielo, e che appariscono allora sotto il vero orizzonte.

1256. In questo caso, se non v'è nulla che avverta l'osservatore del suo errore, poichè l'immagine delle parti inferiori della volta del cielo, vista per reflessione, è quasi della stessa chiarezza di quella che è veduta direttamente, essa sembra essere un prolungamento di questa, la quale apparisce in figura d'un arco che ha la sua concavità voltata verso lo spettatore, sicchè egli giudica i limiti dell'orizzonte e più bassi e più vicini a se, di quello che sono in realtà. Ma se qualche oggetto terrestre, come alberi, villaggi, monticelli, gli servono come di guida per vedere le cose nel loro vero aspetto, poichè la superficie dell'acqua, quando il raggio visuale fa con essa un piccolo angolo, ordinariamente non è apparente se non in virtù dell'immagine del cielo che essa reflette, la superficie dell'aria la quale presenta una riproduzione della stessa immagine, si trasforma agli occhi dello spettatore in quella d'un'acqua reflettente.

1257. I villaggi e gli alberi che sono ad una giusta distanza dal fenomeno, intercettando una parte dei raggi che vengono dalle regioni basse del cielo, producono nella sua immagine certi voti che son tosto riempiti da immagini rovesciate, le quali nascono dai medesimi oggetti in virtù dei raggi che essi tramandano verso la superficie dell'aria.

1258. Quando la densità e la grossezza dello strato dilatato di questo fluido sono costanti, e la temperatura dello strato superiore si mantiene allo stesso grado, il fenomeno apparisce nell'aspetto più maraviglioso, cioè sembra fuggire davanti allo spettatore. Per ben intendere ciò che fa variare in tal modo la sua situazione apparente, sia *mn* (*fig.* 81.) una linea presa sulla superficie reflettente, *bg* una parte del cielo situata nello stesso piano verticale, *ocn* il maggior angolo sotto il quale i raggi possano refletterlo con questa superficie, e *acm* l'angolo d'incidenza corrispondente. L'occhio dello spettatore che supponiamo situato in o, vedrà l'immagine del punto *a* sulla direzione prolungata del raggio *rc*, e questa immagine coinciderà con uno dei punti in cui comincia il fenomeno, relativamente alla presente situazione dello spettatore. Tutte le altre immagini, come quella del punto z, essendo prodotte da raggi dei quali l'angolo d'incidenza *zym* e l'angolo di reflessione *ryn* son minori dei precedenti, apparterranno a qualche parte dell'inondazione, situata al di là del punto dove essa comincia.

1259. Supponiamo ora che l'osservatore si muova in avanti, in modo che il suo occhio si trovi trasportato in o'. Poichè l'angolo che corrisponde al massimo grado d'inclinazione della luce reflessa è determinato e costante, l'occhio vedrà sulla direzione *lp* parallela ad *rc* l'immagine d'un altro punto *s* situata talmente, che l'angolo d'incidenza *spm*, e in consegnenza l'angolo di reflessione *lpn*, saranno eguali ai primi. Ma questa immagine, del pari che la precedente, coincide con uno dei punti in cui ora comincia il fenomeno per l'osservatore, dunque il moto che il suo occhio ha fatto da *o* in o', ha prodotto in questo punto un moto eguale misurato da *as* nella medesima direzione. Lo stesso raziocinio potrà applicarsi a tutte le situazioni in cui si porrà successivamente lo spettatore, dal che si concluderà che egli deve vedere l'orlo dell'inondazione situato dalla sua parte, retrocedere continuamente con una velocità eguale alla sua, e quindi non potrà scorgere se non un suolo arido nei luoghi che prima vedeva bagnati. Se inoltre lo spettatore si avanzi verso un villaggio situato nel medesimo spazio, deve a prima vista sembrargli che l'orlo dell'inondazione si avvicini a questo villaggio, quindi arrivi ad esso, e finalmente lo oltrepassi.

1260. Dalla spiegazione della fata-morgana in terra, facilmente si deduce la spiegazione della fata-morgana in mare, di cui è alquanto diversa la causa, ma agisce però nella stessa maniera. Osserveremo primieramente, che come l'acqua del mare lascia che i raggi luminosi penetrino nel suo interno, fino a una certa profondità, la sua superficie restando esposta al sole, si riscalda molto meno di un terreno arido in eguali circostanze, e così essa non può comunicare allo strato d'aria

immediatamente superiore, se non una bassa temperatura; ma a questo supplisce l'evaporazione.

La quantità di calorico contenuto nell'acqua stessa, quantunque sia poco considerevole, basta per convertire le molecole acquee a contatto con lo strato d'aria superiore in un vapore che vi si introduce, e ne scema la gravità specifica (§. 300). Allora la superficie di questo medesimo strato divien capace di riflettere i raggi luminosi, sotto l'angolo da cui dipende la produzione del fenomeno della fata-morgana; e quindi questo differisce soltanto da quello che accade in terra, in quanto che in questo la diminuzione di gravità specifica che soffre l'aria, è prodotta dallo sforzo che esercita immediatamente il calorico, in virtù della sua sola elasticità, per allontanare le molecole di quest'aria; mentre tal diminuzione nell'altro effetto resulta dall'unione del calorico con le molecole dell'acqua, sotto la forma di un fluido elastico, che è la causa della dilatazione dell'aria.

5. DELLA VISIONE AIUTATA DALL'ARTE.

1261. Parlando dei suoni osservammo quanto era delicato il senso dell'orecchio per distinguerli gli uni dagli altri, quando sono mescolati in una stessa armonia; e nulla ci sembrava più ammirabile di questa specie di discernimento dell'orecchio, perchè non avevamo ancora parlato dell'occhio. Rappresentiamoci questo organo in faccia ad una scena vasta, e sparsa di oggetti d'ogni grandezza, d'ogni forma e d'ogni colore: questa scena si trasporta tutta intera, in un istante indivisibile, nel fondo dell'occhio, sopra uno spazio incomparabilmente minore di uno solo di quei tanti oggetti, e i raggi che per trasportar quest'immagine vengono da tutti gli oggetti, o meglio da ciascun punto di ciascuno oggetto, passano in folla e come alla rinfusa per l'apertura ancor più piccola della pupilla, senza che resti punto alterata la loro armonia. L'occhio pure, senza alcuna confusione, scorge in questo ammasso immenso tutti i dettagli, ciascuno dei quali forma da se solo un ammasso, e li separa o gli unisce a piacere: e mentre l'orecchio colpito nel tempo stesso da un troppo gran numero di voci, non sente altro che un rumore, l'occhio in mezzo a tutti questi diversi linguaggi che quasi gli parlano tanti oggetti diversi, distingue ciò che vuol dirgli ciascuno di essi; e il contrasto medesimo che formano i moti degli uni con l'immobilità degli altri, non turba in verun modo questa specie di commercio. E se l'occhio stesso cambia situazione, o si volge da altra parte, vede una nuova scena, un nuovo concorso d'impressioni variate, sempre egualmente chiare e distinte; e si conserva pur sempre il medesimo, quantunque tutto sia cambiato per esso.

Tale è l'organo della vista, quando solo e senza alcun estraneo soccorso esercita le sue facoltà naturali. Ci resta da far vedere ciò che ha fatto l'arte per estendere maggiormente il potere dell'occhio, e procurargli nuove maniere di vedere.

Degli effetti della luce regolarmente reflessa, relativamente alla visione.

Abbiamo spiegato (§. 1153 e seg.) in qual maniera i raggi della luce, reflessi dalle superficie più o meno scabre degli oggetti ordinarii, ce ne fanno scorgere le forme e i colori. Ma quando la reflessione accade regolarmente sulla superficie dei corpi levigati, che si chiamano *specchi*, i raggi respinti da queste superficie si dirigono verso i nostri occhi, come se partissero da diversi punti d'un oggetto immaginario, che si presentasse a questo organo come esistente realmente. Esaminiamo dunque particolarmente le proprietà degli specchi piani, degli specchi concavi e degli specchi convessi.

DELLO SPECCHIO PIANO.

1262. Se supponiamo un punto raggiante situato in faccia ad uno specchio piano, è chiaro primieramente che questo punto tramanda da ogni parte raggi divergenti sulla superficie di questo specchio, i quali son tutti respinti in modo che fanno il loro angolo di reflessione eguale all'angolo d'incidenza. Se un occhio sia situato in faccia al medesimo specchio, fra tutti i raggi reflessi in tante direzioni diverse, ve ne saranno alcuni che si dirigeranno verso il foro della pupilla per la quale passeranno, e l'unione di essi potrà riguardarsi come un cono troncato, con la base maggiore eguale al circolo della pupilla, e con la minore appoggiata alla superficie dello specchio. Questa base è comune a questo cono e ad un altro composto di raggi tramandati dal punto raggiante; ma la reflessione non ha fatto altro che piegare i raggi, senza cambiarne però le respettive situazioni; e quindi essi giungono all'occhio precisamente con lo stesso ordine e con lo stesso grado di divergenza, come se venissero immediatamente da un punto immaginario, situato nel punto in cui concorrerebbero i raggi che formano il cono troncato, se fossero prolungati dietro allo specchio. L'occhio dunque proverà un'impressione, come se questi prolungamenti fossero reali, poichè l'impressione che esso riceve, dipende unicamente dalla direzione del moto che hanno i raggi nel punto in cui arrivano; e qualunque altro effetto accade senza che egli se ne accorga: e poichè egli è avvezzo a riferire gli oggetti a qualche punto della linea retta, nella direzione della quale i raggi vengono a colpirlo, vedrà al vertice immaginario del

cono che è entrato nella pupilla, un'immagine del punto raggiante che produrrà in esso la stessa illusione, come se questo punto fosse stato trasportato a un tratto dietro allo specchio.

Inoltre si comprende facilmente che l'immagine sarà al di là dello specchio, a una distanza eguale a quella a cui si trova l'oggetto al di qua, poichè il cono immaginario che termina a questa immagine, è eguale e simile al cono reale che parte dall'oggetto, e che fa lo stesso angolo con la superficie dello specchio.

Questa spiegazione sarà ancora più facile ad intendersi per mezzo della *fig.* 82, in cui AB rappresenta una linea presa sulla superficie di uno specchio piano, R il punto raggiante, *s*R*t* il cono di raggi che dopo essere stato reflesso in *st*, si dirige verso l'occhio situato in *o*, e gli fa vedere l'immagine del punto raggiante nel punto *r* del concorso immaginario dei raggi *ms*, *nt*, e di tutti i raggi intermedii (*a*).

1263. Se in vece d'un semplice punto raggiante, poniamo davanti allo specchio un oggetto esteso nelle tre dimensioni, dalla luce reflessa deriveranno eguali resultamenti che dalla luce diretta, cioè l'occhio vedrà dietro allo specchio un'immagine eguale e simile all'oggetto, e talmente situata, che tutti i punti che si corrisponderanno sull'uno e sull'altra, saranno a eguali distanze di qua e di là dallo specchio.

Ognuno comprenderà facilmente, che tutti i gesti che fa un uomo davanti a uno specchio, son ripetuti in modo contrario dalla sua immagine; quindi è che quando vogliamo eseguire in faccia ad uno specchio certi moti, i quali richiedono che noi vediamo noi stessi, abbiam bisogno d'un certo esercizio per evitare di restare ingannati da questa imitazione.

(*a*) Se lo specchio è metallico, bisogna riflettere che fra i raggi partiti dal punto R, alcuni sono reflessi a contatto con l'aria e con la superficie AB, mentre gli altri dopo aver penetrato nella piccola grossezza delle molecole situate vicino a questa superficie, soffrono sulla loro base interna una reflessione che li respinge verso la base opposta, dalla quale passano poi nuovamente nell'aria circostante (§. 1167). Ne segue dunque che l'occhio riceve due immagini del punto raggiante, ma che si confondono per motivo della distanza quasi infinitesima fra le due superficie reflettenti. In seguito non distingueremo più queste due reflessioni, e per maggior semplicità supporremo, che l'immagine principale sia quella che deriva dai raggi reflessi sulla superficie dello specchio, quantunque in sostanza sia quella che vien prodotta dai raggi che son penetrati nelle molecole metalliche situate nello stesso punto.

Se lo specchio è un cristallo amalgamato, vi sono tre reflessioni, la prima è sulla superficie anteriore del cristallo e dell'aria, la seconda a contatto con la sua superficie posteriore e con l'amalgama, e la terza sulla base interna delle molecole metalliche. Ma le due ultime reflessioni si riguardano come coincidenti egualmente sulle direzioni comuni, e noi ci esprimeremo come se non vi fosse che una sola reflessione sulla superficie dell'amalgama.

Noi non possiamo vedere in uno specchio se non una parte di noi stessi, quando la nostra altezza è doppia di quella dello specchio, perchè l'altezza dell'immagine rappresenta la base d'un triangolo, i lati del quale son quelli dell'angolo visuale che sottende quest'altezza; e nello stesso caso l'altezza dello specchio rappresenta una linea che taglia il triangolo parallelamente alla sua base. Or questa linea divide ciascun raggio visuale in due parti eguali, poichè lo specchio è lontano egualmente dall'immagine e dall'occhio; dal che segue che la detta linea è eguale alla metà della base del triangolo. Dunque l'altezza dello specchio è ancor essa la metà di quella dell'immagine, e nel tempo stesso della parte del nostro corpo, la quale è rappresentata di grandezza naturale da questa immagine.

1264. Essendo data la distanza dell'occhio dallo specchio, e le altezze dello specchio e dell'oggetto, è facile determinare a qual distanza dallo specchio si dovrà porre l'oggetto, per vederlo in esso tutto intero in una situazione parallela a quella dello specchio; poichè, supponendo tutto già fatto, e facendo la stessa costruzione indicata di sopra, (§. 1263.) si vede che lo specchio intercetta sul triangolo, che ha per base l'altezza dell'immagine, e per lati quelli dell'angolo visuale, un triangolo minore, il quale avendo per base l'altezza medesima dello specchio, è simile al gran triangolo. Avremo dunque questa analogia: la base del piccolo triangolo, o l'altezza dello specchio, sta alla base del gran triangolo, ossia all'altezza o dell'immagine o dell'oggetto, come l'altezza del piccolo triangolo, ossia la distanza dall'occhio allo specchio, sta all'altezza del gran triangolo, ossia alla distanza dall'occhio all'immagine. Conoscendo i primi tre termini della proporzione, si troverà facilmente il quarto, che è eguale alla distanza dell'occhio dallo specchio, più quella dallo specchio all'immagine; dal che segue che togliendo dal quarto termine la distanza dell'occhio dallo specchio, che è data, si avrà la distanza dallo specchio all'immagine, che è la stessa che quella dall'oggetto allo specchio. Per esempio se l'altezza dello specchio è 1 *met.*, 6, e quella dell'oggetto è 2*met.*, 4, e se la distanza fra l'occhio e lo specchio è 4*met.*, si troverà di 6*met.* la distanza dall'occhio all'immagine, dalla quale togliendo 4*met.*, che danno la distanza dall'occhio allo specchio, avremo 2*met.* per la distanza alla quale bisognerebbe porre l'oggetto, relativamente allo specchio, per vederlo in esso tutto intero.

1265. Quando l'oggetto si muove davanti allo specchio, o avanzandosi o retrocedendo, l'immagine percorre altrettanto spazio dietro allo specchio; ma se lo specchio si allontana o si avvicina all'oggetto, l'im-

magine percorrerà uno spazio doppio. Se per esempio lo specchio si ritiri un metro dall'oggetto, se l'immagine non retrocedesse che di egual quantità, la sua distanza relativamente allo specchio sarebbe pure la stessa, e così essa sarebbe minore di un metro della distanza dall'oggetto allo specchio. Bisogna dunque che l'immagine percorra due metri, perchè esista sempre egual distanza da una parte e dall'altra.

1266. Da quanto abbiamo detto resulta, che se l'oggetto è in una situazione verticale, e lo specchio venga inclinato 45° sull'orizzonte, la situazione dell'immagine diverrà orizzontale, poichè bisognerà che ciascun punto dell'altezza di questa immagine, che in principio era situata verticalmente, abbia descritto un arco di 90°, lo che non può accadere senza che la stessa immagine non comparisca parallela all'orizzonte. Da ciò si comprende perchè i moti delle immagini che si dipingono nell'acqua, sono molto più sensibili delle agitazioni del liquido.

1267. Un'altra osservazione, che è relativa alle immagini, in riguardo delle quali l'acqua fa le veci di specchio, è che in generale esse son deboli e come abbozzate semplicemente, perchè non son prodotte che dalla reflessione dei raggi, che non sono soggetti al potere refrangente dell'acqua (§ 1046). Intanto quando siamo sulla sponda di un lago tranquillo, i raggi che partendo dagli alberi e dagli edifizii situati sulla sponda opposta, son reflessi verso i nostri occhi dalla superficie dell'acqua, essendo moltissimo obliqui, e però abbondantissimi, ci fanno vedere le immagini di questi oggetti lontani, molto più chiaramente di quello che non vediamo le immagini degli oggetti simili, che sulla medesima sponda son vicini a noi.

1268. Questa reflessione parziale ha luogo ancora per gli specchi di cristallo, e però questi specchi presentano due immagini distinte di ciascun oggetto, una delle quali è prodotta dai raggi che si reflettono sulla superficie anteriore del cristallo, e l'altra dai raggi che dopo esser penetrati nella grossezza del cristallo, si reflettono a contatto con la superficie posteriore e con l'amalgama metallica che la ricopre. Quest'ultima immagine è molto più viva dell'altra, sicchè essa sola richiama l'attenzione nei casi ordinarii. Ma se si presenti un capo di spillo ad una piccola distanza dal cristallo, e si dia al raggio visuale un certo grado di obliquità, si scorgerà molto sensibilmente l'immagine reflessa dalla superficie anteriore del cristallo, e vi sarà pure una tale inclinazione, in cui essa sarà veduta più distintamente di quella che proviene dalla superficie posteriore.

1269. Da quanto abbiamo detto di sopra (§ 1262) resulta, che l'immagine suddetta è veduta dietro alla superficie anteriore dello specchio, alla stessa distanza a cui il punto raggiante è situato al di qua della me-

desima. Accade l'opposto relativamente all'altra immagine, riguardo alla quale le due distanze corrispondenti sono necesseriamente disuguali, come facilmente potrà rilevarsi per mezzo della costruzione rappresentata dalla *fig.* 83. Sia *f* il punto raggiante, O il luogo dell'occhio, e sieno AB, DC le superficie dei due specchi, ed *fp* sia una linea condotta perpendicolare a queste due superficie. I raggi incidenti *fk*, *fx*, che dopo essersi reflessi sulla superficie AB giungeranno all'occhio nelle direzioni *kl*, *xz*, gli faranno vedere l'immagine del punto raggiante nel punto di concorso *u* dei loro prolungamenti, situato sulla perpendicolare *fp*, in modo che A*u* sarà eguale ad A*f*, lo che combina con ciò che abbiamo detto di sopra.

1270. Ora fra tutti gli altri coni che hanno il vertice in *f*, ve ne sarà uno situato in modo, che i raggi *fg*, *fh* che coincidono con due apotemi opposti, presi sulla sua superficie (*a*), si refrangeranno nello specchio, uno da *g* in *e*, l'altro da *h* in *u*, quindi si rifletteranno da *o* in *x* e da *n* in *m* verso la superficie superiore, e finalmente ripasseranno nell'aria, dove soffriranno una nuova refrazione che li tramanderà verso l'occhio nelle direzioni *xl*, *mz*.

1271. Supponiamo ora che il cono di raggi partiti dal punto *f*, vada a reflettersi immediatamente sulla superficie posteriore DC, come se l'altro non esistesse: in tal caso l'asse di questo cono prenderà la direzione *ft* che cade fra i punti *e*, *n*, abbassandosi sotto la direzione dell'asse del cono *gfh*, che si riferisce allo stato reale delle cose. Le situazioni relative saranno le stesse in quanto ai raggi reflessi provenienti dal cono al quale appartiene l'asse *ft*, e in quanto ai raggi *xl*, *mz* che prendono la loro origine dal cono *gfh*; dal che si concluderà che le due refrazioni sofferte da quelli che con la loro riunione formano questo cono, tendono ad alzare la situazione dell'immagine principale, sopra quella che avrebbe nel caso di una reflessione immediata sulla superficie DC.

1272. Differiscono pure fra loro gli effetti dei raggi che producono le due immagini, in quanto che quelli che escono dallo specchio nelle direzioni *xl*, *mz*, e tutti gli altri compresi fra loro, non sono distribuiti nello stesso ordine, come se derivassero dalla reflessione immediata, che avrebbero sofferta sulla superficie AB quelli di un cono che fosse partito dal punto *f*, dimanierachè la loro riunione può considerarsi come il prolungamento di questo cono. Le direzioni di questi raggi dipendono dalla refrazione di quelli che son passati dallo specchio nell'aria circostante:

(*a*) Abbiamo rappresentati qui questi raggi soltanto, perchè bastano per l'intelligenza della spiegazione del fenomeno.

ma l'effetto di questa refrazione è di disperderli in modo, che essendo prolungati al di là dei punti s, m, non concorrono più in un punto comune situato sulla linea fp. In vece di questo punto ve n'è un altro, che è come il centro d'azione di tutte le molecole luminose, comprese nella riunione dei raggi; e nel luogo di questo centro si forma un fuoco virtuale da cui nasce l'immagine principale. Questo punto è analogo a quello che si chiama *punto d'irradiazione*, e di cui daremo la nozione quando tratteremo della refrazione nei mezzi terminati da superficie piane.

1273. La piccola dispersione che soffrono i raggi refratti nel passare dallo specchio nell'aria circostante, tende ad avvicinare all'occhio il fuoco virtuale suddetto, sicchè l'immagine in vece di trovarsi in p, sulla perpendicolare che passa per il punto raggiante f, coincide con un punto y situato al di qua di questa verticale. Ne segue dunque che essa sembra più vicina alla superficie inferiore dello specchio, di quello che se derivasse immediatamente dalla reflessione, e più vicina all'occhio che l'altra immagine situata nel punto u. E ciò infatti si osserva quando si esaminano attentamente le situazioni delle due immagini, specialmente se si accresca opportunamente l'obliquità del raggio visuale, relativamente allo specchio.

Noi non abbiamo indicato che il primo e più sensibil grado di un fenomeno, che ha un'estensione in certo modo illimitata Per provarlo, consideriamo di nuovo la spiegazione precedente, aggiungendovi nuove particolarità che la renderanno più completa in se stessa, e di cui ci serviremo, per seguire con l'aiuto della teoria il corso progressivo del fenomeno, al di là dei limiti dove cessa l'osservazione.

1274. Se in quella esperienza ci serviamo di un lume, tenendo sempre l'occhio molto inclinato, in vece delle due immagini della fiamma ne vedremo cinque o sei, poste quasi sopra una stessa linea, le une dietro alle altre, e che appariranno sempre più deboli a misura che verranno spinte dietro allo specchio. Per spiegare questo effetto, supponiamo di nuovo che AB, DC (*fig.* 84) rappresentino le due superficie dello specchio, che r sia uno dei punti raggianti che compongono la fiamma del lume, e che un occhio sia situato in o. Dal punto r parte un fascio di raggi che si dirige per re, e di cui una parte em, che è in un accesso di facile trasmissione (§. 1152), penetra nello specchio, mentre un'altra parte che si trova in un accesso di facile reflessione, essendo respinta per eh, è perduta per l'occhio. La parte em dopo essersi reflessa a contatto col cristallo e con l'amalgama, arriva al punto u; e se le due superficie dello specchio fossero perfettamente parallele, questa parte si

troverebbe totalmente in un accesso di facile trasmissione (§. 1168); ma poichè non si può supporre che il parallelismo sia rigoroso in tutti i punti corrispondenti delle due superficie dello specchio, basta che nello spazio situato intorno ad *u*, e su cui cade il fascio dei raggi *mu*, vi sieno alcuni punti che diano un'unità di più o di meno nell'intervallo corrispondente, perchè una porzione dei medesimi raggi sia reflessa di nuovo nella direzione *uy*, mentre l'altra, dopo essere stata refratta nell'aria, si dirigerà secondo *uo*, e farà vedere all'occhio un'immagine del punto raggiante, situata sulla direzione *ou*. Un altro fascio *rx* si suddivide egualmente nel punto *x* in due parti, una delle quali *xz* penetra nel cristallo, e l'altra *xo*, che è reflessa sulla superficie anteriore, va ad incontrar l'occhio, e gli fa vedere un'altra immagine del punto raggiante, situata sulla direzione *ox*, e che è più debole della prima, quando i raggi che ne portano all'occhio l'impressione fanno con la superficie di uno specchio un angolo alquanto considerevole; perchè in questo caso i raggi che soffrono la refrazione, son in molto maggior numero di quelli che sfuggono alla sua azione. Le due immagini che si scorgono quando si pone uno spillo a una piccola distanza dal cristallo, sono analoghe a quelle di cui abbiamo parlato, ma un terzo fascio segue la via *raglino* in modo, che ogni volta che incontra la superficie anteriore del cristallo, si suddivide in esso egualmente in due parti, una delle quali è refratta, e l'altra è reflessa; ed è tale in questo caso la sua situazione, che dopo aver sofferto due reflessioni in *g* e in *l*, a contatto del cristallo e dell'amalgama, arriva all'occhio, e gli fa vedere una terza immagine situata sulla direzione *on*, e meno sensibile delle due precedenti.

Considerando attentamente la figura, sarà facile formarsi un'idea delle refrazioni e delle reflessioni parziali, che accadono nei diversi punti d'immersione dei raggi partiti dal punto raggiante. È chiaro ancora che devono esservi altri fasci, che dopo aver sofferto nell'interno del cristallo tre, quattro, ec. reflessioni, anderanno a dipingere nel fondo dell'occhio nuove immagini del punto raggiante, ma che saranno sempre più deboli, a misura che le refrazioni e le reflessioni che non concorrono all'effetto, avranno tolto successivamente ai diversi fasci una maggior parte dei raggi di cui erano composti in principio. Ma poichè a proporzione che i raggi hanno più giri da fare fra le due superficie del cristallo, è necessario che la loro incidenza accada sopra i punti *e*, *a*, ec., situati sempre più indietro relativamente all'occhio, e che la loro emergenza accada per i punti *u*, *n*, situati sempre più in avanti, la loro inclinazione sul cristallo scemerà proporzionatamente, e ciascun fascio parziale

di raggi emergenti farà vedere l'immagine che gli appartiene, da una distanza dietro al cristallo, maggiore dell'immagine precedente.

1275. I giudizii che noi facciamo relativamente alle grandezze ed alle distanze delle immagini presentateci da uno specchio piano, sono gli stessi come se l'oggetto non avesse fatto che cambiar situazione, e trasportarsi nei punti nei quali concorrono i raggi respinti verso l'occhio dalla superficie reflettente; e poichè la visione negli specchi non ha che un campo di mediocre estensione, l'immagine di un oggetto, a misura che essa si allontana in conseguenza dei moti che fa l'oggetto stesso, conserva per noi la sua grandezza, perchè teniamo conto nel tempo stesso dell'aumento di distanza.

DELLO SPECCHIO CONCAVO.

1276. Lo specchio concavo produce effetti singolarissimi, e tali qualche volta da poter risvegliare l'idea del prestigio. Sotto un certo punto di vista l'immagine sembra retta e situata dietro allo specchio, ma moltissimo ingrandita, e nel tempo stesso più allontanata di quello che non è l'oggetto dalla parte anteriore. Allontanando gradatamente dallo specchio l'oggetto, l'immagine in principio sparisce, o non presenta più che un ammasso confuso di luce e di colori; ma ad un tratto a una maggior distanza l'immagine prendendo nuovamente la sua forma, si rovescia, ed esce dallo specchio andando verso lo spettatore, e o lo tocca o si pone accanto a lui, secondo i moti che fa l'oggetto; talchè in sostanza parrebbe che l'oggetto stesso avesse raddoppiata la sua esistenza.

1277. Per spiegare questi diversi effetti, figuriamoci che *bnm* (*fig.* 85) rappresenti una porzione della circonferenza d'uno dei gran circoli d'uno specchio concavo sferico, e che R sia un punto raggiante, situato nel piano di questo circolo, e preso sopra il centro *c*: tutti i raggi incidenti R*d*, R*h*, R*f*, ec., che dovranno essere vicinissimi, si rifletteranno da una parte dell'asse R*n*, in modo che i raggi reflessi si intersecheranno fra loro, cioè *dr* e *ht* nel punto *r*, *ht* e *fg* nel punto *t*, *fg* e *og* nel punto *g* situato sull'asse. Ma a misura che i raggi incidenti son più vicini all'asse, gli angoli d'incidenza di due raggi vicini differiscono meno fra loro, perchè i piccoli archi che avvicinano gli assi, come *no*, *of*, variano pochissimo nelle loro inclinazioni relativamente all'asse; dal che segue che i raggi incidenti i quali corrispondono a questi piccoli archi, fanno con essi angoli quasi eguali, mentre ad una certa distanza, come *d*, le inclinazioni dei piccoli archi variando sensibilmente, perchè in que-

sto punto la curva si alza rapidamente, gli angoli d'incidenza debbon variare essi pure in un gran rapporto. Dunque ancora i raggi reflessi dagli archi vicini all'asse faranno fra loro tali angoli che varieranno molto lentamente, e in conseguenza vi sarà sempre un certo numero di questi raggi che si taglieranno in un piccolissimo spazio situato verso g sull'asse della curva. Noi osservammo già (§. 1023) che questo spazio considerato come un punto, è ciò che si chiama *fuoco* dei raggi partiti da R; e qui si vede ora una nuova applicazione del principio, che le quantità che si avvicinano al loro limite variano a piccolissime differenze (§. 1086), dimanierachè v'è sempre un certo spazio in cui esse si possono supporre quasi costanti, e in cui le loro azioni in certo modo si condensano. Nel caso presente il limite è l'incidenza che accade nella direzione dell'asse cn.

Idea delle caustiche per reflessione.

1278. Una curva ayg, relativamente alla quale i raggi reflessi sieno altrettante tangenti, si chiama *caustica per reflessione*; ed è chiaro che dall'altra parte dell'asse se ne formerà un'altra gs, simile alla prima, e che la taglierà nel fuoco g.

1279 Se il punto raggiante R si allontana dal punto n, le caustiche si avvicineranno alla circonferenza bnm; poichè in tal caso gli angoli d'incidenza, e però gli angoli di reflessione, trovandosi scemati, ciascun raggio reflesso come hr inclinerà maggiormente dalla parte dell'arco hn, e in conseguenza tutti questi raggi si intersecheranno in punti meno lontani dalla circonferenza bnm.

1280. Se il punto raggiante sia ad una distanza infinita da n, il fuoco g si troverà precisamente nel mezzo del raggio cn. Abbiamo determinata geometricamente (§. 1022) la situazione di questo punto che si chiama *fuoco dei raggi paralleli*, perchè a una distanza infinita i raggi incidenti che si avvicinano all'asse, divengono sensibilmente paralleli.

Al contrario, a misura che il punto raggiante si avvicinerà al centro, le caustiche si allontaneranno dalla circonferenza bnm; e quando il punto raggiante sarà giunto al centro, tutti i raggi incidenti reflettendosi sopra se stessi, le caustiche si ridurranno ad un punto unico che si confonderà col centro c.

1281. Se il punto raggiante scende quindi sotto il centro, le caustiche si alzeranno al di sopra, in modo che formeranno sempre angoli minori con l'asse nei punti in cui si intersecheranno; e quando il punto raggiante sarà arrivato alla metà del raggio cn, i raggi reflessi più vicini

all' asse divenendo paralleli (§. 1022), le caustiche si separeranno e si estenderanno all' infinito con le loro parti superiori.

I punti raggianti continuando a scendere, i raggi reflessi si troveranno in due casi diversi, poichè da una parte gli angoli d'incidenza dei raggi *ro*, *ri*, ec. (*fig.* 86), fino a un certo termine, formandosi sopra archi poco inclinati sull'asse, i raggi reflessi analoghi *oδ*, *it*, invece di intersecarsi divergeranno fra loro (*a*); dal che segue, che se si prolunghino sotto l'arco *bnm*, in vece dei raggi si intersecheranno questi prolungamenti, formando una nuova caustica nei punti *p*, *z*, ec. Dall'altra parte gli angoli d'incidenza dei raggi nelle direzioni *rk*, *rx*, formandosi sopra archi che si alzano rapidamente, i raggi reflessi corrispondenti inclineranno gli uni sugli altri, e si intersecheranno in modo da formare la caustica $\mu\omega\varphi$, più o meno lontana da quella che le corrisponde dall'altra parte dell'asse, mentre le caustiche prodotte sotto l'arco *bnm*, avranno in *p* un punto d'intersezione.

1282. La caustica $\mu\omega\varphi$ scenderà verso l'arco *bnm*, a misura che il punto *r* si avvicinerà esso pure a questo arco; poichè allora gli angoli d'incidenza dei raggi *rk*, *rx* ec. divenendo sempre minori, i raggi reflessi *kδ*, *xζ* faranno essi pure con l'arco *km* angoli sempre decrescenti, e che in conseguenza anderanno sempre inclinandosi in basso, e le loro intersezioni accaderanno più vicino all'arco *bnm*. Ciò che diciamo qui di questo arco può applicarsi egualmente a qualunque altro che facesse parte della superficie concava dello specchio.

1283. Ecco ora le conseguenze che resultano da tutte queste diverse situazioni, relativamente alle immagini prodotte dagli specchi concavi. Sia RAR′ (*fig.* 87) un oggetto posto davanti a uno specchio concavo, fra il centro *c* e il fuoco dei raggi paralleli. Se per le estremità R, R′ si conducano gli assi *ncx*, *n′cx′*, i coni di luce che partono da queste medesime estremità, in direzioni vicinissime ad R*n*, R′*n′*, si rifletteranno in modo, che i loro fuochi saranno in qualche punto *r*, *r′*, sulle parti degli assi situati sopra il centro *c* (§. 1023): e poichè ciò che diciamo qui delle estremità dell'oggetto si applica egualmente a tutti gli altri punti, l'unione di tutti questi fuochi produrrà un'immagine *rar′* di questo oggetto, la quale sarà rovesciata, perchè gli assi si incrociano nel centro. Se si suppone al contrario che *rar′* sia l'oggetto, RAR′ diverrà l'immagine.

Ma queste specie d'immagini son perdute per l'occhio dello spet-

(*a*) I raggi incidenti relativamente all'arco *ni*, son quasi nello stesso caso come se cadessero sopra uno specchio piano.

tatore, poichè quando RAR′ è l'oggetto, l'occhio non potrebbe vedere l'immagine, se non situandosi in qualche punto o, nello spazio sopra la medesima: ma in tal caso sarebbe necessario che i prolungamenti rx, $r'x'$ dei raggi che passano per le estremità dell'immagine, invece d'esser divergenti, convergessero nelle direzioni ro, $r'o$, che andassero a incrociarsi nella pupilla. E se rar' sia l'oggetto, si incontra la stessa difficoltà, poichè è certo che in nessun caso lo spettatore potrà porre la testa fra l'oggetto e l'immagine, senza intercettare i raggi che vanno dall'uno all'altra.

1284. Si può peraltro scorgere l'immagine quando è situata dietro all'oggetto, come in rr'; ma bisogna riceverla sopra un piano, ove questa immagine trovandosi nello stesso caso come se fosse stata dipinta, divien visibile per mezzo dei coni di raggi che questi diversi punti tramandano all'occhio. Questa esperienza riesce assai bene quando l'oggetto RAR′ è una piccola lastra trasparente di vetro colorato, per la quale passando i raggi reflessi, giungono fino in r, r', dove è situato un cartone bianco sul quale l'osservatore vede l'immagine, guardando per parte, in una situazione inferiore a quella del cartone.

Immagini ordinarie.

1285 Prima di spiegare la maniera con cui l'occhio scorge immediatamente le immagini prodotte dallo specchio concavo, osserveremo che si può fare per r, t (*fig.* 85) lo stesso raziocinio che fu fatto per g, situato sull'asse, dove esso fa le veci di fuoco, relativamente ai raggi partiti da R, i quali formano con l'asse stesso angoli piccolissimi; cioè, ancora intorno al punto t, per esempio, v'è un piccolissimo spazio, in cui dopo la lor reflessione si riuniscono i raggi che si muovono dal punto R verso lo specchio, in direzioni vicinissime a quelle dei raggi Rf, Ro; sicchè ciascun punto della caustica divien pure come un fuoco d'un ordine inferiore, in cui i raggi concentrano tanto la loro attività, che la riunione dei loro prolungamenti fa sull'occhio un'impressione sensibile.

1286. Ciò premesso, figuriamoci primieramente che l'oggetto sia quel medesimo punto raggiante R rappresentato dalla figura, situato sopra il centro. Qualunque sia la situazione da cui l'occhio guarderà l'immagine, esso la riferirà sempre a qualche punto di una delle caustiche ag e gs: per esempio, se è situato in modo che i raggi reflessi ht, ft (*fig.* 88), dopo essersi incrociati in t, abbiano il piccolo grado di divergenza conveniente, relativamente alla situazione dell'occhio in O, quest'occhio vedrà l'immagine in t, cioè fra lo specchio e il centro c.

1287. Se il punto R (*fig*, 85) è posto in questo centro, l'immagine

si confonderà con l'oggetto, e sarà come assorbita da esso, sicchè l'occhio non potrà scorgere l'immagine in qualunque punto sia situato. Per una ragione simile, se l'occhio stesso sia nel centro, l'immagine del punto, in qualunque parte sia situato, sarà invisibile per esso, il quale non potrà scorgere se non la sua propria immagine, che sarà molto confusa, e coprirà tutta la superficie dello specchio.

1288. In tutte le situazioni del punto R fra il centro e il fuoco dei raggi paralleli, l'immagine comparirà sempre davanti allo specchio, ma sarà sopra il centro, poichè in tal caso le caustiche stesse son più alte del centro.

1289. L'immagine sarà confusissima quando il punto R si troverà precisamente nel fuoco dei raggi paralleli, perchè questi raggi saranno mescolati con quelli, che essendo più lontani dall'asse convergeranno verso l'occhio, e saranno inoltre situati in un modo contrario a quello che richiede la chiarezza della visione.

1290. Figuriamoci finalmente che il punto r (*fig.* 86) scenda sotto il fuoco dei raggi paralleli: allora, secondo le diverse situazioni dell'occhio, l'immagine comparirà o davanti o dietro allo specchio, o l'occhio la vedrà da ambedue le parti nel tempo stesso; poichè se quest' organo non può ricevere che raggi reflessi, come $o\delta$, $i\varepsilon$. che divergono fra loro partendo dallo specchio, l'immagine sarà vista solamente dalla parte posteriore nel punto di concorso z di questi raggi prolungati; e perchè i raggi $o\delta$, $i\varepsilon$ divergono meno dei raggi incidenti ro, ri da cui essi provengono, è chiaro che op sarà maggiore di or, e iz maggiore di ri; quindi è che l'immagine comparirà dietro allo specchio ad una distanza maggiore di quella, a cui è situato l'oggetto davanti al medesimo.

Se al contrario l'occhio è in situazione da ricevere soltanto raggi convergenti, come $l\omega$, $k\omega$, prolungati al di là del loro punto di concorso ω, dimanierachè il diametro della pupilla occupi la distanza $\delta\lambda$, l'immagine comparirà in questo medesimo punto ω.

Finalmente se l'occhio è situato verso il punto ε, in modo che la pupilla possa ricevere nel tempo stesso raggi appartenenti alle due caustiche $\mu\omega\varphi$ e pz, vedrà un'immagine del punto luminoso davanti allo specchio, e un'altra dietro al medesimo; e poichè ciascuna caustica ha la sua corrispondente dalla parte opposta dell'asse, potrà accadere che lo spettatore vegga con i due occhi l'immagine quadrupla (*a*).

1291. In vece d'un semplice punto raggiante, supponiamo un oggetto alquanto esteso, e consideriamo soltanto i raggi i quali partono

(*a*) Per ottenere questi diversi effetti, è necessario che lo specchio formi una porzione un poco considerevole della sfera alla quale appartiene.

dalle estremità di quest' oggetto. Tutto ciò che abbiamo detto del punto *r* potrà applicarsi a ciascuna di queste medesime estremità, egualmente che a tutti i punti intermedii.

Quando l' immagine sarà vista dietro allo specchio, comparirà ingrandita, e sempre retta, perchè allora lo specchio concavo non differisce dallo specchio piano, se non in quanto che esso rende più convergenti verso l' occhio i due lati dell' angolo visuale, il quale sottende la grandezza dell' immagine, lo che non cambia nulla la situazione di questa, e ne aumenta soltanto l' estensione. L' immagine, nel medesimo caso, comparirà dalla parte posteriore dello specchio, lontana da esso più che l' oggetto nella parte anteriore, poichè allora si potrà ragionare di ciascun punto dell'oggetto, come abbiamo fatto (§. 1290) relativamente a un sol punto raggiante. Finalmente è chiaro che l' immagine deve essere sfigurata, poichè i suoi diversi punti non possono avere le stesse situazioni rispettive dei punti corrispondenti dell' oggetto, come accade servendoci di uno specchio piano.

1292. Nei fenomeni che abbiamo esposti si osserva una singolarità, cioè a misura che l' oggetto si avvicina allo specchio, la distanza apparente dell' immagine dalla parte posteriore del medesimo, e la sua grandezza crescono nel tempo stesso; sicchè accade a questa immagine lo stesso che ad un oggetto di cui crescessero le dimensioni, mentre esso si allontanasse da noi. E così mentre nella visione ordinaria giudichiamo sempre l' oggetto della stessa grandezza, quando si ritira da noi, perchè giudicando dall' aumento della distanza, rettifichiamo l' errore che la diminuzione dell' immagine nel fondo dell' occhio potrebbe cagionare nel giudizio che diamo sulla grandezza reale. in questo caso al contrario, in cui la distanza e la grandezza dell' immagine crescono nel tempo stesso, la grandezza giudicata deve pur crescere notabilmente, poichè supponendo che restasse la stessa la distanza apparente, basterebbe che l' immagine crescesse nelle sue dimensioni, perchè noi la giudicassimo realmente più grande.

1293. Quando l' oggetto è sopra il fuoco dei raggi paralleli, nel qual caso l' immagine è vista dalla parte anteriore dello specchio, questa immagine è sempre rovesciata. Per comprenderne la ragione, basta considerare che nel tempo stesso in cui il punto raggiante R (*fig.* 85) scende verso lo specchio, fino al fuoco dei raggi paralleli, le caustiche al contrario si allontanano dallo specchio Possiamo ora considerare due punti raggianti situati uno sopra all' altro, come le estremità anteriore e posteriore di un medesimo oggetto. Dunque la caustica che produrrà l' immagine dell' estremità anteriore, o di quella che è più vicina allo specchio, sarà distante da questo più della caustica, relativamente all' e-

stremità posteriore; e quindi l'immagine intera sarà essa pure situata all'opposto dell'oggetto.

1294. Ma per meglio intendere la ragione di questo rovesciamento, supponiamo che R (*fig.* 89) essendo un punto raggiante, un occhio sia situato in o, in modo che Rz sia l'asse del pennello di raggi incidenti, e zo quello del pennello di raggi reflessi, per mezzo dei quali l'occhio vede l'immagine r del punto R sulla caustica og. Se l'asse Rn si muova verso la parte destra, e girando sul centro c prenda la situazione R'n', in tal caso la caustica segnirà questo moto senza cambiare di situazione relativamente all'asse, e l'occhio vedrà l'immagine del punto R' in qualche punto r' di questa caustica $a'g'$, cioè nel punto in cui essa sarà toccata dall'asse $z'o$ del pennello di raggi reflessi, proveniente dall'incidenza nella direzione R'z': da ciò facilmente si giudica, che l'immagine del punto raggiante ha fatto un moto in parte opposta a quella di questo medesimo punto. Dunque se si supponga che R, R' sieno le due estremità d'una freccia, la situazione dell'immagine rr' di essa sarà rovesciata; e nel tempo stesso si comprende che accade un tal rovesciamento, perchè gli assi Rz, R'z' dei pennelli di raggi incidenti si incrociano in un punto x prima d'incontrare lo specchio, lo che non accade quando l'immagine è vista senza rovesciamento.

1295. Il giudizio poi che noi diamo sulla grandezza dell'immagine, poichè esso dipende specialmente dal rapporto fra gli angoli sotto i quali l'occhio vede l'oggetto e l'immagine stessa, varierà secondo le distanze che separano l'occhio dall'uno e dall'altra. In generale l'oggetto quando è vicino all'occhio più dell'immagine, sembra più grande di essa, e al contrario l'immagine è più grande quando è vista da una distanza minore; e fra i due effetti contrarii v'è un punto in cui l'immagine comparisce eguale all'oggetto.

1296. Che se l'oggetto sia posto sotto il fuoco dei raggi paralleli, e l'occhio in una situazione in cui vegga l'immagine davanti allo specchio, in questo caso l'immagine sarà retta, perchè vedemmo che allora le caustiche si muovevano dalla stessa parte del punto raggiante (§. 1282), mentre questo punto si avvicinava allo specchio. Da ciò resulta che le parti anteriore e posteriore dell'immagine avranno, relativamente allo specchio, la stessa situazione che le parti corrispondenti dell'oggetto, e così l'immagine intera e l'oggetto saranno voltati dalla stessa parte.

In questo medesimo caso l'immagine sarà maggiore dell'oggetto, perchè gli assi dei pennelli di raggi incidenti, che partono dalle estremità dell'oggetto, non essendosi incrociati prima d'arrivare allo specchio, questa circostanza li rende molto più capaci di convergere dopo

la reflessione, e accresce notabilmente la grandezza dell'angolo sotto il quale si scorge l'immagine.

1297. Questa immagine apparisce sul lato dello specchio, come può giudicarsi dalla situazione della caustica μωφ (*fig.* 86), e delle altre che concorrono alla formazione di questa immagine. Al contrario l'osservatore può sempre situarsi in modo da scorgere, nello spazio che corrisponde al punto di mezzo dello specchio, gli oggetti situati sopra il fuoco dei raggi paralleli; e appunto queste ultime immagini producono le più seducenti illusioni. Inoltre può in tal maniera disporsi lo specchio e l'oggetto, il quale sarà per esempio un mazzo di fiori, che tutti e due essendo coperti da qualche altro corpo, quelli che entrano nella stanza non veggano che l'altro mazzo formato della luce reflessa, e restino subito maravigliati nel vederlo sparire, quando avanzandosi verso di esso, si allontanano da quella situazione in virtù della quale soltanto esso era per loro visibile.

Uso degli specchi concavi negli strumenti d'Ottica.

1298. Gli specchi concavi servono per la costruzione di molti telescopii, dei quali daremo in seguito un'idea. Si preferiscono quelli di metallo, i quali non presentano mai se non una sola immagine dell'oggetto, e si formano comunemente con una certa lega, composta di tali materie e in tali rapporti, che la superficie del metallo così mescolato è bianca, e però adattatissima a reflettere abbondantemente la luce. Ma questi specchi sono soggetti ad appannarsi, e però sono molto inferiori a quelli di platino, che non sono soggetti a verun'azione dell'aria. Era stato creduto inoltre che il potere reflettente di questi ultimi, in circostanze eguali fosse molto maggiore di quello degli specchi ordinarii, ma con alcune esperienze comparative fatte con molta accuratezza all'Osservatorio reale, Arago provò che in questo il platino era molto inferiore. Ciò forse dipende dal dover legare in principio il platino con l'arsenico, il quale mentre poi è fatto evaporare a forza di calore, lascia il metallo con moltissimi pori, dai quali nascono tante piccole perdite di luce reflessa. Da qualche tempo per i telescopii si usano lenti acromatiche (*a*) invece di specchi di platino, e nell'uso di essi si è specialmente distinto il celebre artista Lerebours, che con i suoi strumenti di ottica ha fatto tanto vantaggio all'Astronomia e alla Marina.

Per ottenere il voluto intento dagli specchi metallici, bisogna che la loro forma, la quale è una porzione di sfera, sia lavorata con moltis-

(*a*) Daremo in seguito la teoria di queste lenti.

sima precisione, e che sieno politissimi e levigatissimi, perchè se non hanno queste proprietà, rendouo le immagini confuse, ed assorbiscono una gran quantità di raggi. Newton vedeudo che era difficilissimo riunire queste condizioni, dette la preferenza agli specchi di vetro amalgamati, purchè fossero ben costruiti (*a*); ma il successo non ha corrisposto all'espettativa di questo celebre geometra, e presentemente sono in uso soltanto specchi metallici o di vetro, per gli strumenti nei quali l'effetto della reflessione si combina con quello della refrazione.

Uso dei medesimi specchi per eccitare la combustione.

1299. Quando i raggi del sole che giungono a noi in direzioni quasi parallele, cadono sulla superficie di uno specchio concavo, in modo che quello che parte dal centro dell'astro si confonde con l'asse di questo specchio. la reflessione fa sì che essi quasi coincidono col fuoco dei raggi paralleli; là le azioni loro concentrate eccitano nei corpi soggetti ad esse un calore sì forte da infiammar questi corpi, fonderli o vetrificarli, secondo la diversa natura dei corpi stessi; per la qual cosa questi specchi sono stati chiamati *specchi ustorii.*

1300. Un corpo acceso, situato davanti a uno specchio concavo, tramanda altresì verso la superficie di questo specchio alcuni raggi, che dopo la lor reflessione si riuniscono in un fuoco comune; ma oltre l'aver essi un'energia molto minore dei raggi solari, resulta dalla loro divergenza notabile, che quelli che cadono vicinissimi all'asse, sono molto meno condensati in uno spazio dato, e però il fuoco ha un'attività molto minore. Si può peraltro fare in modo che la loro incidenza accada in direzioni parallele, e ciò per mezzo di due specchi di circa 40 centimetri, ossia 15 pollici di diametro, e dei quali sia tale la curva, che la distanza fra il fuoco e la superficie reflettente sia ancor essa di 40 centimetri in circa. Si alzano questi specchi verticalmente, voltati l'uno verso l'altro dalla parte concava, e si possono allontanare l'uno dall'altro 10 metri, ossia 30 piedi, e più ancora. Nel fuoco di uno si pone un pezzo di carbone acceso, e che sia mantenuto tale con un soffio uniforme, diretto dalla parte che è situata verso lo specchio. I raggi che cadono su questo specchio, divenendo paralleli dopo la lor reflessione, incontrano su queste direzioni medesime la superficie dell'altro specchio, dove una seconda reflessione li fa concorrere nel fuoco dei raggi paralleli, in modo che essi divengono tanto attivi da accendere un pezzo d'esca, o alcuni grani di polvere da schioppo che sieno in questo fuoco.

(*a*) *Optice lucis lib.* I, *par.* 1. *propos.* 7.

1301. Il P. Kirker fu il primo che immaginasse di sostituire a uno specchio concavo molti specchi piani, situati in modo che i raggi del sole reflessi sulle loro superficie, convergessero verso uno stesso punto. Ne pose infatti cinque solamente, collocandoli in modo che il concorso dei raggi accadesse a una distanza di 32 ½ metri ossia 100 piedi di distanza, e trovò che in quel punto il calore era quasi insopportabile. Dunque, soggiunge quel fisico, se cinque specchi producono un sì grande effetto, quale non lo produrrebbero cento o mille specchi disposti nella stessa maniera? il calore che essi produrrebbero sarebbe sì violento, che brucerebbe tutto, e ridurrebbe tutto in cenere (*a*).

1302. Altre simili esperienze sono state fatte in seguito da molti fisici col medesimo fine; ma la specie di specchio poligono eseguito al giardino delle piante a Parigi nel 1747, sull'idea che ne aveva concepito il celebre Buffon, ecclissa tutto ciò che era stato fatto fin allora in questo genere, tanto per la grandezza degli effetti, quanto per l'ingegnosa costruzione (*b*). Questo specchio era composto di cento sessantotto cristalli amalgamati, mobili per ogni verso, in modo che potevano fissarsi a qualunque grado d'inclinazione; e quindi a tutta questa macchina poteva darsi una forma più o meno concava, e portarsi il fuoco a varie distanze. Questo bruciava il legno alla distanza di 65 metri, ossia 200 piedi, fondeva i metalli alla distanza di 14$^{met.}$, 5 ossia 45 piedi, e Buffon era persuaso, che moltiplicando i cristalli si potrebbero ottenere gli stessi effetti a una distanza molto maggiore.

1303. Leggiamo nelle antiche storie, che Archimede abbruciò i vascelli dei Romani per mezzo di specchi ustorii. Alcuni fisici hanno riguardato come favoloso questo racconto, sembrando loro poco verisimile che il matematico di Siracusa avesse potuto costruire specchi concavi di tanta estensione, che i loro fuochi giungessero alla distanza a cui doveva trovarsi la flotta romana. Ma il fatto non ha nulla di impossibile, se si supponga che Archimede abbia combinate le azioni di più specchi piani; e dall'altra parte quel famoso geometra aveva dato altre prove che egli era capace di concepire una tal idea.

(*a*) Kirker, *Ars magna lucis et umbrae*, lib. X, p. 888.
(*b*) Buffon, *Histoire naturelle*, edit. in 12° 1774, *Supplem.*, t. II. p. 141 e seg.

DELLO SPECCHIO CONVESSO.

1304. Gli effetti dello specchio convesso sono molto meno variati di quelli dello specchio concavo, e si riducono a far vedere l'immagine dietro allo specchio più piccola dell'oggetto, e più vicina alla superficie reflettente. Ciò è l'opposto di quello che accade quando si vede l'immagine dietro allo specchio concavo, ma nello stesso caso ambedue gli specchi presentano retta l'immagine.

Sia *bnm* (*fig.* 90) una porzione della circonferenza di uno dei gran circoli dello specchio convesso, ed R un punto raggiante posto nel piano di questo circolo. Se si supponga che i raggi reflessi i quali appartengono ai raggi incidenti R*n*, R*o*, R*f*, ec., si prolunghino dietro alla superficie dello specchio, finchè ciascuno sia tagliato dal seguente, le intersezioni *g*, *r*, *p*, ec. di questi raggi produrranno una caustica *gs* situata dalla stessa parte dell'asse, e se ne formerà un'altra *gn* totalmente simile dalla parte opposta, sicchè le due caustiche si taglieranno in un punto *g* situato sull'asse.

A misura che il punto raggiante si allontanerà o si avvicinerà all'arco *bnm*, se ne allontaneranno pure o si avvicineranno le caustiche stesse con moti contrarii; e se il punto raggiante si supponga ad una distanza infinita, il punto *g* in cui si tagliano le caustiche sarà situato nel mezzo del raggio *cn*; e da ciò segue che in questo medesimo punto si trova il fuoco dei raggi paralleli.

1305. Se l'osservatore ha il suo occhio situato nel piano dell'arco *bnm*, questo occhio vedrà l'immagine del punto raggiante in qualche punto dell'una o dell'altra caustica: per esempio, se l'occhio è situato talmente che i raggi R*f*, R*h* dopo essersi reflessi nelle direzioni delle linee *fp*, *hu*, giungano alla pupilla, esso vedrà l'immagine nel punto di concorso *p* di queste medesime linee prolungate dietro allo specchio.

1306. L'immagine comparirà sempre vicina allo specchio più dell'oggetto, poichè per la proprietà che ha lo specchio convesso di far divergere i raggi (§. 1025). è chiaro che i raggi reflessi divergeranno fra loro più dei raggi incidenti, per la qual cosa il loro punto immaginario di concorso si avvicinerà maggiormente allo specchio. La stessa conseguenza si deduce ancora dall'osservare che il punto *g* in cui si tagliano le caustiche, e che presenta l'immagine del punto raggiante, quando l'occhio è situato sull'asse *c*R, percorre la metà soltanto del raggio *nc*, mentre il punto raggiante si allontana dallo specchio fino ad una distanza infinita.

Se in vece di un semplice punto si sostituisca un oggetto alquanto esteso., la sua immagine comparirà egualmente dietro allo specchio, ad una distanza minore di quella a cui è posto l'oggetto davanti al medesimo, e nel tempo stesso comparirà retta: in fatti se l'asse cR restando fisso con la sua estremità c, si muova per esempio da sinistra a destra, portando con se il punto raggiante R, è chiaro che la caustica gs si muoverà per lo stesso verso: dunque se si supponga un oggetto, le due estremità del quale corrispondano, una al punto R, come si vede nella figura, l'altra al luogo in cui lo stesso punto è stato trasportato dal moto dell'asse, l'immagine di questo oggetto sarà situata dietro allo specchio, in una situazione simile a quella dell'oggetto stesso sulla parte anteriore, e così lo specchio concavo, sotto questo aspetto, non differirà dallo specchio piano, che rappresenta gli oggetti nella loro vera situazione.

1307. Finalmente l'immagine, paragonata all'oggetto, apparirà ristretta in tutte le sue dimensioni, poichè la reflessione sulle superficie convesse scemando la convergenza dei raggi, ne segue che i lati dell'angolo visuale, sotto il quale l'occhio scorge l'immagine, convergono meno di quelli dell'angolo, sotto il quale egli vedrebbe l'oggetto alla stessa distanza; e così l'apertura dell'angolo, e nel tempo stesso la grandezza apparente dell'oggetto devono scemare.

Qui si presenta un'osservazione, che è in certo modo l'inversa di quella che facemmo parlando degli specchi concavi (§. 1294), cioè che essendo scemate nel tempo stesso la distanza e la grandezza apparente, la grandezza giudicata deve pur esser minore.

SPECCHI CILINDRICI O CONICI.

1308. Si fanno ancora gli specchi di forma cilindrica o conica, che producono curiosissimi effetti. Si pone uno di questi specchi con la sua base nel mezzo di un disegno, che non presenti se non alcuni tratti irregolari, specie di enigmi per l'occhio che ne trova l'interpetrazione nello specchio medesimo, nel quale scorge la figura regolare di qualche oggetto familiare. Dalla geometria si deducono le regole per combinare le linee del disegno con la curva dello specchio, in modo che ne resulti l'effetto voluto: e poichè lo specchio rappresenta gli oggetti diversi da quelli che sono, appunto per questa sua medesima infedeltà gli si presentano immagini viziose da rettificare.

Degli effetti della luce refratta, relativamente alla visione.

1309. I progressi della Diottrica, o scienza dei raggi refratti, di cui passiamo ora a parlare, sono stati molto più lenti di quelli della Catottrica, che ha per oggetto la luce reflessa. La legge fondamentale di quest'ultima scienza, che consiste nell'eguaglianza degli angoli d'incidenza e di reflessione, doveva presentarsi più facilmente a motivo della sua semplicità; e probabilmente Euclide stesso che l'applicò agli effetti degli specchi nel suo *Trattato d'Ottica*, si era servito delle cognizioni stabilite da gran tempo nella scuola Platonica, di cui seguiva la dottrina. Ma la legge a cui è soggetta la refrazione della luce era tuttora ignota, quando verso la fine del secolo decimo terzo, *Salvino degli Armati* fiorentino inventò gli occhiali da leggere; scoperta mirabile, per mezzo della quale l'occhio che è soggetto a invecchiare più presto degli altri organi, ritrova a un tratto molti anni di vita che sembravano perduti senza riparo. I primi abbozzi di un telescopio sono attribuiti ai figli d'un occhialaio di Middelbourg nella Zelanda, i quali avendo disposte fra le loro dita due lenti d'occhiale una dietro all'altra, fecero osservare a loro padre, che gli oggetti visti per mezzo di questi vetri comparivano molto più grandi che alla semplice vista; e l'occhialaio, colpito da questo effetto singolare, imitò con una costruzione più comoda il modello che gli avevano presentato i suoi figli. Altri artisti della stessa città si applicarono a perfezionare questo strumento, che in principio fu chiamato *occhiale d'Olanda*.

1310. Ma per ricavare dal telescopio tutti quei vantaggi che sembravano potersi sperare, bisognava conoscere la legge di refrazione. Keplero la cercò inutilmente, ma con l'osservazione trovò una specie di regola che era molto prossima alla legge che cercava, e dalla quale apprese, che in vece dell'oculare concavo usato fin allora, poteva mettere un oculare convesso. Scheiner e Rheita megliorarono ancora questa costruzione, e l'ultimo giunse a una combinazione di lenti che riuniva diversi vantaggi a quello di raddirizzare gli oggetti, che con un solo oculare si vedevano rovesciati.

1311. Finalmente Snellio, geometra Olandese, determinò la legge fondamentale della Diottrica, la quale, secondo lui, consiste nel rapporto costante che hanno fra loro le cosecanti degli angoli d'incidenza e di refrazione. Cartesio sostituì a questo rapporto quello dei seni, che è inverso a quello delle cosecanti, e che presenta la stessa legge in una forma più semplice; e trovato questo resultamento, se ne servì per fare dotte ricerche sulle curve più adattate a concentrare in un medesimo

punto i raggi divenuti convergenti per effetto della refrazione. Ma per la difficoltà di dare alle lenti tal curva, è stata nuovamente preferita la figura sferica, sicchè i lavori di Cartesio sulla Diottrica hanno fatto progredire più la scienza che l'arte. Barrow a cui era serbata la gloria di divenir maestro di Newton, se pur Newton ha avuto bisogno di maestro, pubblicò sulla medesima scienza un'opera molto stimata, nella quale rischiara varii punti che non erano stati trattati fin allora se non imperfettamente (*a*). La pratica trascurata moltissimo fin allora, fece grandi progressi fra le mani di Huygens, al quale siamo debitori di una gran parte di perfezione nell'arte di tagliare i vetri.

1312. Newton che aveva spiegata sì bene la legge della refrazione, per mezzo dell'attrazione del mezzo refrangente, sviluppò ancora i principii della Diottrica in un'opera particolare (*b*), ed immaginò una specie di telescopio, che porta il suo nome, nel quale egli combinava gli effetti delle lenti convesse con quelli dello specchio concavo. Ma egli non aveva proposta tal costruzione, se non perchè riguardava come impossibile il poter distruggere un difetto notabile che hanno i telescopii e gli occhiali ordinarii, cioè di decomporre la luce, come fa il prisma, e di produrre quelle frange di falsi colori, che sembrano formare un orlo agli oggetti guardati con questi strumenti. Newton fu condotto a questa conseguenza da un'altra, che con troppa precipitazione dedusse da un'esperienza di cui parleremo in seguito, esperienza semplice e facile a farsi, ma della quale egli non vide il vero resultamento. Per un mezzo secolo nessuno pensò a ripeterla; tanto era difficile scorgere un errore in mezzo a tante importantissime verità. Finalmente un'esperienza fatta da Dollond, celebre ottico inglese, in circostanze adattate a renderla decisiva, e che dava un resultamento opposto a quello di Newton, dette origine ai cannocchiali acromatici, di cui daremo la storia più minutamente a suo luogo; e questa scoperta aprì una nuova carriera al genio dei più illustri geometri, e al talento dei migliori artisti.

Parleremo successivamente degli effetti della refrazione nei mezzi terminati da facce piane, e in quelli terminati da facce curvilinee; e dopo aver considerati gli effetti dei vetri semplici, esporremo quelli degli strumenti nei quali si combinano lenti curve e specchi, o lenti soltanto senza specchi.

(*a*) *Lectiones Opticae et Geometriae*, *Londini* 1674.
(*b*) *Opusc.* VIII, *Lectiones Opticae.*

DELLA REFRAZIONE SEMPLICE NEI MEZZI TERMINATI DA FACCE PIANE.

1313. Sia a (*fig.* 91) un punto raggiante, preso in un mezzo qualunque terminato dalla superficie ef, e che tramanda raggi verso questa superficie in moltissime direzioni diverse.

Supponiamo che an rappresenti uno di questi raggi, e che nt sia il raggio refratto, il quale si avvicinerà alla perpendicolare nx, se il mezzo situato sopra ef è più denso dell' inferiore, o se ne allontanerà (*fig.* 92) nel caso contrario.

Dal punto a conduciamo ab perpendicolare ad ef, e fra a e b, e dal lato opposto (*fig.* 91), prendiamo un punto z situato in modo, che zb sta ad ab, come il seno d' incidenza sta al seno di refrazione, relativamente al mezzo situato sopra ef. Con la Geometria si prova, che se si prolunga un raggio refratto qualunque tn, finchè incontri l' asse ab della radiazione, il punto k in cui taglierà questo asse sarà sempre situato al di quà (*fig.* 92) o al di là (*fig.* 91) del punto z, dimanierachè questo ultimo punto sarà il limite di tutti i raggi refratti venuti dal punto a (a).

Figuriamoci che il raggio incidente an, restando fisso con la sua estremità a si avvicini all' asse bk con la sua estremità n: in tal caso l' angolo d' incidenza ban essendo scemato, sarà pure scemato l' angolo di refrazione xnt, e di più il punto k si sarà avvicinato al punto z. Concludiamo da ciò, che quando i raggi i quali partendo dal punto a cadono sulla superficie ef, sono poco distanti dall' asse, i raggi refratti formano quasi nel posto del punto z una specie di fuoco immaginario; poichè in conseguenza del principio, che ogni quantità la quale

(a) Nel triangolo ank, l' angolo a è il supplemento dell' angolo d' incidenza ban (*fig.* 91), oppure è questo angolo stesso (*fig.* 92); e l' angolo k è eguale all' angolo di refrazione xnt (*fig.* 91) o al suo supplemento (*fig.* 92). Dunque chiamando i il seno d' incidenza, e r il seno di refrazione avremo $nk : an :: i : r$.

Condotta per il punto z la linea gh parallela ad ef, prolunghiamo, se è necessario, na fino all' incontro di gh: a motivo dei triangoli simili nab, saz, avremo $as : an :: az : ab$. Dunque (*fig.* 91) $as+an : an :: az+ab : ab$; e (*fig.* 92) $an-as : an :: ab-az : ab$; dunque $ns : an :: zb : ab :: i : r$; ma abbiamo avuto $nk : an :: i : r$, dunque $nk = ns$. Ora a motivo dell' angolo ottuso nzs (*fig.* 91), o dell' angolo acuto nzs (*fig.* 92), si ha nz minore di ns ossia nk (*fig.* 91), ed nz maggiore di ns ossia di nk (*fig.* 92). Dunque tutti i raggi refratti caderanno al di là di z (*fig.* 91), o al di qua (*fig.* 92).

si avvicina al suo limite varia a gradi piccolissimi (§. 1086), i raggi che hanno il loro concorso in vicinanza del punto z, devono esser più densi che altrove, o abbondare maggiormente in uno spazio dato (*a*).

1314. Supponiamo che varii raggi *an*, *ai*, ec.(*fig*.93) partiti dal punto *a*, cadano nel tempo stesso sulla superficie *ef*, ad una certa distanza dal punto *b*, e dalla stessa parte dell'asse: in tal caso i loro prolungamenti sotto *ef* anderanno a tagliare questo asse successivamente in punti sempre più lontani dal punto z, e quindi si intersecheranno in varii punti *d*, *c*, *m*, situati dalla parte sinistra dell'asse (*fig*. 93), o dalla parte destra del medesimo (*fig*. 94).

Se i raggi *an*, *ai* si considerino come i raggi estremi, fra tutti quelli che partendo dal punto *a* cadono sul piccolo spazio *in* situato nel piano *abf*, il loro punto di concorso immaginario sarà nel punto *d*, che può determinarsi per mezzo del calcolo. Ma vi sono altri raggi partiti dallo stesso punto *a*, che cadono sopra altri piani, e che si disperdono per effetto della refrazione, in modo che tutti quelli i quali appartengono a un piccolo cono, la base del quale avesse un diametro eguale ad *in*, hanno i loro punti di concorso come sparsi in un piccolo spazio vicino al punto *d*, sicchè in tal caso non v'è un fuoco propriamente detto (*b*). La determinazione del punto che è come il centro d'azione di tutti questi raggi, dimanierachè posson essi riguardarsi come se partissero da questo punto, quasi da un punto raggiante, è un problema delicatissimo che ha molto esercitato l'ingegno dei fisici, i quali poi l'hanno sciolto in varie maniere. Secondo Newton, questo punto è quasi nel mezzo della distanza fra il punto di concorso *d* dei raggi estremi, e il punto *p* dell'asse (*c*).

Da quanto abbiamo detto possiamo dedurre la spiegazione di varii fenomeni che nascono dalla refrazione dei mezzi separati da superficie piane. Limitiamoci al caso in cui la luce passa da un mezzo più denso in un mezzo più raro.

1315. Se si pone un piccolo oggetto nell'acqua, e l'occhio sia situato verticalmente sopra questo oggetto, esso ne vedrà l'immagine a una distanza dalla superficie dell'acqua, che sarà tre quarti soltanto della distanza reale; poichè, per quanto abbiamo detto di sopra (§. 1313), la prima distanza sta alla seconda, come il seno d'incidenza sta al seno di refrazione, cioè come 3 a 4, quando la luce passa dall'acqua nell'aria.

(*a*) Barrow, *Lect. opt. et geom.*, p. 42, NN. 12, 13, 14, ec.
(*b*) s'Gravesande, t. II, p. 766, n.° 2701.
(*c*) Opusc. XVIII, *Lection. opt.*, *scholium ad prop.* 8.

In generale la refrazione dei raggi che passano nell'aria, escendo da un mezzo più denso, il quale abbia piana la superficie che è in faccia all'occhio, fa vedere l'immagine più vicina a questa superficie; poichè se si suppone un punto raggiante situato in *a* (*fig.* 94), e se *tl* rappresenti il diametro della pupilla, il punto di concorso immaginario *d* dei raggi refratti *tu*, *li*, sarà sempre situato dentro il triangolo *ban*, e però sarà sempre più vicino all'occhio del punto *a*.

1316. Si ponga un corpo in fondo d'un catino voto, e varie persone si allontanino dal catino finchè il suo orlo copra loro questo corpo, e si fermino in questo punto: se quindi si versi un po' d'acqua nel catino, il corpo sarà visto da tutti quelli spettatori.

Da ciò segue ancora, che un catino pieno d'acqua sembra meno profondo che quando era voto, perchè tutti i punti della superficie del fondo si avvicinano all'occhio.

1317. Se l'oggetto ha una certa estensione in lunghezza, come *ab* (*fig.* 95), e sia situato parallelamente alla superficie del mezzo refrangente, la sua lunghezza comparirà maggiore, perchè allora l'angolo visuale *aob*, per mezzo del quale l'occhio scorgerebbe l'oggetto *ab* con la semplice vista, avrà i suoi lati compresi fra quelli dell'angolo *mon*, sotto il quale l'occhio vede l'immagine di questo oggetto.

1318. Un bastone immerso in parte nell'acqua, in direzione obliqua alla superficie di essa, sembra spezzato nel punto della sua immersione, dimanierachè l'immagine della parte immersa si alza sopra la parte stessa. Infatti sia *ef* (*fig.* 96) la superficie dell'acqua, *ha* il bastone, ed o la situazione dell'occhio. Fra tutti i raggi che il punto *a*, considerato come punto raggiante, tramanda verso la superficie *ef*, ve ne sarà uno, come *an*, il quale dopo la sua refrazione nel punto *n* si dirigerà verso l'occhio, e gli farà vedere l'immagine del punto *a* in qualche parte *x*; e quindi la parte prolungata *ga* avrà per immagine una linea *gx*, che farà comparire il bastone spezzato in *g*.

Figuriamoci che il bastone, restando fisso con la sua estremità *a*, si alzi con l'estremità opposta, finchè coincida con la linea *ab* perpendicolare ad *ef*, e supponiamo che l'occhio sia sempre situato in o: in tal caso la grandezza apparente della parte immersa sarà eguale a *bx*, molto più corta della grandezza reale *ab* In generale un oggetto immerso verticalmente nell'acqua apparisce sempre più corto, e ciò tanto più, quanto la sua estremità superiore si avvicina maggiormente alla superficie dell'acqua; sicchè a un occhio che resti sempre nella stessa situazione, comparirà raccorciato al massimo grado quando l'estremità superiore dell'oggetto è a livello col liquido.

Se in questo stato di cose si ritiri dall'acqua il bastone, e se questo

sia inoltre molto sottile, si vedrà con una specie di maraviglia allungarsi, quasi per un rapido svolgimento di parti.

A misura che l'oggetto esce dall'acqua, si scorge per mezzo della reflessione l'immagine della sua parte esterna, la quale immagine è in principio più corta di quella della parte interna, vista per refrazione; e poichè questa scema mentre quella cresce, v'è un termine in cui sono ambedue egualmente lunghe. Ma l'immagine vista per reflessione è sempre eguale alla parte dell'oggetto situato fuori dell'acqua, poichè in questo caso il liquido fa le veci di uno specchio piano (§. 1263). Se nel momento in cui le due immagini sono egualmente lunghe, si misuri la parte situata fuori dell'acqua, ed estrattone quindi tutto il corpo si misuri egualmente la parte che vi era immersa; dal rapporto fra l'una e l'altra potrà sempre determinarsi quanto più piccola del vero comparisce la parte immersa nell'acqua per effetto di refrazione: per esempio, se la parte situata fuori dell'acqua è la metà della parte immersa, se ne concluderà che anco la lunghezza apparente di questa era la metà della sua lunghezza reale.

DELLA DOPPIA REFRAZIONE.

1319. Quando un fascio di raggi passa a traverso di una massa d'acqua o di vetro, resta semplice; e per questo se si guardano gli oggetti a traverso di due facce opposte di questi medesimi mezzi, non si vede che una sola immagine d'ognuno: ma molte sostanze minerali hanno la proprietà singolare di far sì che un fascio di luce che penetra in essi, si suddivida in due parti che vanno in due direzioni diverse. Allora si dice che la refrazione è doppia; e se si guardano gli oggetti a traverso di due facce opposte di uno di questi corpi, le loro immagini sembrano doppie, purchè ciò si osservi in certe circostanze che indicheremo in seguito. Una delle parti del fascio è soggetta alla legge della refrazione ordinaria, e l'altra segue una legge particolare che è determinata dal fenomeno.

1320 Il fenomeno della doppia refrazione (§. 1022) fu scoperto da Erasmo Bartolini (*a*), il quale avendo guardato l'immagine di una linea a traverso d'un romboide trasparente di calce carbonata, ossia spato calcareo, proveniente dall'Islanda osservò che questa immagine era doppia. Maravigliatosi il Bartolini di questa osservazione, spinse più oltre ancora la maraviglia, dicendo che questo fenomeno sepolto nel-

(*a*) Erasmi Bartholini, *Experim. cristalli Islandici disdiaclastici;* Hafniae, 1770; *dedic. ad Regem Frider.* III.

l'Islanda, dove esistevano in abbondanza i corpi destinati a produrlo, era per i naturalisti la prova d'una verità fin allora ignorata, cioè che il freddo dei climi settentrionali, ben lungi dall'indebolire i raggi della luce, li rendeva anzi più energici. In sostanza però tutti i climi somministrano calce carbonata trasparente, capace di raddoppiare egualmente le immagini degli oggetti, proprietà che è pur comune a molte altre sostanze che citeremo in seguito.

1321 Huygens e Newton i primi, e quindi altri valenti fisici hanno cercato la spiegazione di questo fenomeno; ma la varietà delle loro opinioni, che ognuno fondava sopra principii particolari, indipendentemente dalle osservazioni degli altri, prova la difficoltà dell'argomento; dimanierachè in mezzo a tante autorità e a tanti resultamenti sopra un soggetto riguardato sotto tanti aspetti diversi, sembrava egualmente difficile tanto lo scegliere fra ciò che era stato detto, quanto il dire qualche cosa di nuovo. Eppure non v'era molto da scegliere, se il fatto fosse stato osservato un poco più da vicino; e contro l'ordinario di ciò che accade, specialmente quando si tratta di una materia delicata, le prime ricerche eran quelle che avevan condotto direttamente allo scopo. Il genio di Huygens aveva scoperta la vera legge, la quale però era stata rigettata senza esame, perchè nella costruzione, per mezzo della quale era stata rappresentata da quell'insigne fisico, si trovava collegata col sistema delle ondulazioni, che era allora come ecclissato da quello dell'emissione, al quale, in questo caso, si opponeva la supposizione, che la doppia refrazione fosse prodotta da onde di due figure diverse Così i fisici proseguirono le loro ricerche, senza pensare che si occupavano nel fare una cosa già fatta, e v'è stato bisogno per così dire di una nuova scoperta, per trarre l'antica fuori da un sistema, in cui era rimasta come sotterrata quasi per un secolo; e la gloria di questa nuova scoperta è divisa fra Wollaston e Malus. Descriviamo prima le principali circostanze del fenomeno, e poi parleremo della spiegazione del medesimo.

Andamento della luce a traverso di un solo romboide.

1322. Sia *eb* (*fig.* 97) un romboide di calce carbonata, in cui *a* ed *n* sieno i due grandi angoli solidi (*a*), o quelli che son composti di tre angoli piani ottusi eguali fra loro (*b*): conduciamo le piccole dia-

(*a*) La situazione data qui al romboide per facilità della dimostrazione, fa comparire questi angoli acuti, in virtù delle regole della prospettiva.

(*b*) Il valore di ciascuno di questi angoli è di 101° 32′ 13″, perchè il rapporto fra le diagonali del rombo è quello di $\sqrt{3} : \sqrt{2}$.

gonali *ae*, *bn* delle due facce *hade*, *gbon*, che riguarderemo come le basi del romboide, supponendole situate orizzontalmente. Il quadrilatero *aenb* (*fig.* 97 e 98) formato dalle piccole diagonali delle basi, e dai canti intermedii *ab*, *en*, sarà ciò che chiamiamo la sezione principale del romboide.

1323. Sia *st* (*fig.* 97 e 98) un raggio di luce che cada perpendicolarmente sulla base superiore del romboide: esso si dividerà nel punto d'immersione in due parti, una delle quali *tl* sarà sul prolungamento del raggio incidente, come nel caso ordinario, e l'altro *tf* si allontanerà dalla precedente, portandosi verso il piccolo angolo solido *b*, cioè avrà una doppia refrazione del raggio di luce.

1324. Chiameremo dunque il raggio *tl raggio ordinario*, il raggio *tf raggio straordinario*, e la distanza *fl* dall' uno all'altro, presa sulla base inferiore del romboide, *distanza radiale*.

1325. Se il raggio incidente *st* cade obliquamente sulla superficie del romboide, si dividerà sempre in due parti, una delle quali, che sarà il raggio ordinario, si refrangerà avvicinandosi alla perpendicolare nel punto d'immersione, secondo una legge analoga a quella delle refrazioni comuni, e che è tale, che il seno di refrazione sta a quello d'incidenza costantemente come 3 : 5; l'altra parte che sarà il raggio straordinario, si allontanerà sempre dalla precedente, per avvicinarsi all'angolo *b*, qualunque sia la direzione del raggio incidente. In seguito vedremo qual sia la legge di questa seconda refrazione.

1326. Se il raggio incidente è nel piano della sezione principale *aenb*, il raggio ordinario e il raggio straordinario saranno altresì l'uno e l'altro in questo medesimo piano; e tutte le teorie sono concordi in questo resultameoto.

Raddoppio delle immagini per mezzo d'un solo romboide.

Facilmente possono ora spiegarsi i feoomeni che osserviamo quando guardiamo un oggetto a traverso d'un romboide o di due romboidi soprapposti.

1327. Per maggior semplicità supponiamo che *aenb* (*fig.* 100) essendo la sezione principale del romboide, vi sia un punto visibile *p* situato sotto il romboide a una certa distanza, e un occhio situato in *s* sopra la base superiore. Fra tutti i raggi che il punto *p* tramanda verso il romboide, ve n'è uno, come *pl*, la parte *lt* del quale, considerata come raggio ordinario, dopo esser passata nuovamente nell'aria, giunge all'occhio in una direzione *ts* parallela a *pl*. L'altra parte, che è il raggio straordinario, prende una direzione, come *lz*, portandosi verso l'an-

golo acuto c; e poichè dopo la sua emergenza in z, nella direzione zx, questo raggio torna parallelo a pl, non può esser veduto dall' occhio. Ma fra tutti gli altri raggi che partono dal punto p, ve n'è un altro, la direzione po del quale si avvicina talmente a pl, che essendo or il raggio straordinario, ou si incrocia col raggio lt nel punto k, e dopo la sua emergenza in u va per una direzione us parallela a po, e che termina all'occhio. Ognuno vede che tal supposizione è sempre possibile, poichè possiamo prendere il raggio po a qualunque inclinazione, relativamente a pl. Dunque l'occhio vedrà due immagini del punto p, una sulla direzione st, che sarà l'immagine ordinaria, l'altra sulla direzione su che sarà l'immagine straordinaria. In quanto al raggio or è chiaro, che in virtù del suo parallelismo con po, dopo la sua emergenza in r, in una direzione rm, non può passare per l'occhio.

A misura che il punto p si avvicinerà alla linea bn, il punto k scenderà verso questa medesima linea; e quando il punto p toccherà bn, il punto k si confonderà con esso, in modo che sussisterà sempre la doppia immagine.

1328. È da osservarsi che una delle due immagini cioè quella che è vista nella direzione su, e che è prodotta dal raggio straordinario, apparisce sempre più lontana dell'altra dalla base superiore del romboide. Questa differenza può rendersi sensibilissima segnando un circolo sopra una carta, e osservando a traverso del romboide le due immagini di questo circolo le quali si incroceranno, mentre una si vedrà in una situazione inferiore a quella dell'altra.

1329. Nell'esperienza rappresentata dalla *fig.* 100 l'immagine straordinaria, vista nella direzione su, sembra più vicina all'angolo ottuso n dell'immagine ordinaria, che è sulla direzione st, lo che è l'effetto inverso di quello presentato dai raggi ordinario e straordinario derivati dallo stesso raggio incidente; e questa inversione è una conseguenza dell'incrociamento dei raggi ou ed lt nel punto k.

Per mezzo della cognizione di questo andamento dei raggi in direzioni incrociate, si può spiegare un'esperienza importante del celebre Monge. Si prenda un romboide (*fig.* 97), applicando l'indice sul canto ab, e il pollice sul canto en, e si ponga vicinissima all'occhio la sua base superiore $adeh$, in modo che una delle due immagini del punto p sia situata dietro all'altra, relativamente all'occhio dell'osservatore. Allora si faccia strisciare adagio adagio sotto il romboide una carta, che restando applicata alla base inferiore, vada da b verso n, finchè nasconda una delle due immagini; e osserveremo con maraviglia, che l'immagine la quale ci vien nascosta dalla carta, non è quella situata dalla parte da cui viene la carta, ma quella che è dall'altra parte. Solo con

l'osservare la *fig.* 100 si comprende, che se il canto *en* è quello dalla parte dell'osservatore, la carta che va da *b* verso *o* deve primieramente intercettare il raggio incidente *po*, a cui appartiene il raggio emergente *su*, che produce l'immagine più vicina all'osservatore.

Se si segni con l'inchiostro una linea retta sopra una carta, e si faccia girare il rombo de sopra questa linea, osserveremo che la distanza fra le due immagini, sotto la stessa direzione dell'angolo visuale, che in questo caso supponiamo che coincida col piano della sezione principale *aenb* (*a*), è massima quando la linea è situata parallelamente alle grandi diagonali delle basi. Queste immagini si avvicineranno a misura che la linea farà un angolo meno aperto con le stesse diagonali; e quando sarà divenuta perpendicolare ad essa, cioè quando coinciderà al contrario con le piccole diagonali, le due immagini si confonderanno, in modo però che una sopravanzerà l'altra, per effetto della doppia refrazione che sussiste tuttora (*b*).

1330. Quando il raggio incidente *st* (*fig.* 98) è perpendicolare sulla base superiore del romboide, è chiaro che l'immagine ordinaria d'un punto posto in *l*, deve vedersi sul prolungamento *tl* di *st* da un occhio, di cui il raggio visuale coincida con questo prolungamento. L'immagine straordinaria allora è tolta dal suo posto, ma v'è però una circostanza in cui essa si vede pure nel posto di prima, cioè se il punto visibile è in *f'*, e *s't* sia il raggio incidente, e *t'l'* il raggio straordinario; questi due raggi coincideranno sopra una medesima direzione. In tal caso l'angolo d'incidenza del raggio *s't* è di circa 16°, e l'angolo *s't'e* è quasi di 74°; e quindi il raggio refratto *t'f'* non si allontana dal parallelismo col canto *en* che di soli 2° in circa (*c*).

(*a*) Per assicurarci di questa situazione del raggio visuale, segniamo sulla stessa carta un'altra linea di color rosso debole o di qualche altro colore, la quale passi per il mezzo della prima, tagliandola ad angolo retto, e che sia più lunga della piccola diagonale delle basi del romboide. Posto quindi il romboide stesso sulla carta, in modo che copra ambedue le linee, si faccia girare adagio adagio finchè l'immagine della parte della linea colorata che è a contatto con esso, comparisca semplice, e coincida nel tempo stesso, in una sola direzione, col prolungamento della linea fuori del romboide. Questa coincidenza proverà che il raggio visuale è nel piano indicato.

(*b*) Le direzioni in cui coincidono le due immagini, variano secondo che il raggio visuale, posto fuori della sezione principale, cambia situazione. Noi qui consideriamo soltanto i fatti che servono di limiti a tutti gli altri.

(*c*) Per assicurarci che l'una o l'altra immagine si vede nel posto di prima, segnata sopra una carta una linea di color debole, più lunga dalla gran diagonale del romboide, e segnato con l'inchiostro il punto di mezzo di questa linea, si faccia coincidere questa linea con la gran diagonale, o con una linea parallela alla medesima, in modo che la sopravanzi da tutte due e le

Maniera d'osservare le variazioni della distanza radiale.

1331. Con le esperienze che siamo per citare, e che ognuno può ripetere facilmente, abbiamo il doppio fine di spargere una luce maggiore su quanto abbiamo detto del corso dei raggi che passano a traverso d'un romboide di spato d'Islanda, e di condurre a resultamenti di cui vedremo in seguito i vantaggi.

Fatto con l'inchiostro un punto in una carta bianca, si prende una striscia stretta di carta sottilissima, si taglia ad un'estremità in modo che termini ad angolo acutissimo, e si segna con un altro punto nero il vertice di questo angolo: si pone quindi sulla carta un romboide, in modo che guardando a traverso di esso, si veda la doppia immagine del primo punto, e poi tenendo fra due dita la striscia di carta per l'estremità opposta all'angolo acuto, si fa passare fra il romboide e la carta suddetta. In tal modo, muovendo la carta, si posson variare a piacere le situazioni e le distanze dei due punti d'inchiostro.

È chiaro che questi due punti veduti a traverso del romboide, devon presentare quattro immagini distinte; ma avvicinando il punto mobile al punto fisso, o allontanandonelo, e conservandosi l'occhio in una situazione costante, si osserverà che v'è un punto in cui in vece di quattro immagini non se ne vedono che tre; nel qual caso due delle prime immagini si riuniscono in una sola d'un colore più cupo.

Se nel tempo stesso l'occhio è nel piano *abne* (*fig.* 97), perchè accada questo effetto, bisogna che i due punti sieno sulla diagonale *bn*.

Se l'occhio si allontana dalla situazione in cui vedeva confondersi due immagini, queste gli compariranno di nuovo separate, e tanto più separate quanto più l'occhio cambierà situazione; e per vederle coincidere nuovamente, bisognerà accrescere la distanza fra i due punti, se il raggio visuale, variando d'inclinazione, si è avvicinato al punto *e*, e bisognerà scemarla se il raggio visuale si è inclinato dalla parte opposta verso il punto *a*. Noi supponiamo sempre che questo raggio non esca dal piano *abne*, nel qual caso, perchè le quattro immagini si riducano a tre, bisognerà lasciar sempre i due punti sulla direzione della diagonale *bn*.

1332. Non accaderà lo stesso, se il raggio visuale esca dal piano *abne*. In fatti, sia *bn* (*fig.* 101) la stessa diagonale della *fig.* 97,

estremità. Il raggio visuale essendo sul piano della sezione principale condotta per il punto nero, giudicheremo che una o l'altra delle immagini di questo punto è veduta nel suo vero posto, quando l'immagine della linea colorata si vedrà sulla stessa direzione dalle parti esterne di questa linea.

e sieno p, r, i due punti visibili. Figuriamoci che il raggio visuale essendo in principio inclinato verso e, e situato nel piano *abne* (*fig.* 97), l'occhio faccia un moto circolare andando da e verso h: in tal caso l'osservatore non potrà vedere coincidere due delle immagini, se non col porre i punti p, r (*fig.* 101) sopra una direzione inclinata sulla diagonale. Che se il punto p resti fisso, bisognerà porre il punto r in un punto r' della diagonale; e mentre il raggio visuale si avvicinerà sempre più a un piano che taglierebbe ad angolo retto la sezione principale, crescerà la distanza necessaria fra il punto r' e la diagonale bn; e questa distanza sarà massima quando il raggio visuale si troverà nel piano suddetto. Al di là di questo piano, andando da h verso a (*fig.* 97), bisognerà scemar la distanza, lasciando sempre il punto r' (*fig.* 101) sopra un'obliqua che diverga dalla parte di n, relativamente alla diagonale; e la distanza diverrà nulla, quando il raggio visuale caderà di nuovo, ma in parte opposta, sul piano stesso *abne* (*fig.* 97). Se questo raggio prosegua la sua rivoluzione andando da a verso d, accaderanno gli stessi effetti in un ordine opposto, cioè per ottenere la coincidenza delle immagini, bisognerà porre il punto r dall'altra parte della diagonale, come in r'' (*fig.* 101).

1333. Sia ora st (*fig.* 102) un raggio di luce che cada in qualunque direzione sulla base superiore del romboide: sia tr il raggio ordinario, e tp il raggio straordinario, nel qual caso pr sarà la distanza radiale; sieno pp', rr' i raggi emergenti, i quali, come resulta da ciò che abbiamo detto, saranno paralleli ad st. In vece del raggio st, supponiamo due punti visibili, uno in r', l'altro in p', che tramandino raggi verso il romboide in tutte le direzioni: è chiaro in tal caso, che fra tutti questi raggi quello che anderà per la direzione $r'r$ si dividerà nel punto di emergenza, in modo che rt proseguirà ad essere il raggio refratto ordinario, poichè a motivo del parallelismo dei raggi st, $r'r$, considerati successivamente come raggi incidenti, il raggio refratto rt presenterà esattamente gli stessi fenomeni relativamente all'uno e all'altro. Per una simile ragione il raggio che anderà nella direzione $p'p$ si decomporrà nel romboide, in modo che il raggio straordinario sarà sempre pt.

La proposizione sarà sempre vera egualmente, qualunque sieno le situazioni dei punti visibili lungo le linee $r'r$, $p'p$; e quindi se se ne supponga uno in r e l'altro in p, pts ed rts saranno le strade dei raggi che arriveranno in s, e tutto accaderà sempre come nell'ipotesi del raggio incidente st. In questo stato di cose, se un occhio sia situato in s, vedrà due delle quattro immagini presentate dai due punti confondersi sulla direzione st. Dunque ogni volta che accade questa riunione, la distanza pr fra i due punti è la distanza radiale, relativamente a un

raggio incidente, che fosse in quella direzione nella quale l'occhio vede l'immagine unica formata da tale riunione.

Spiegazione della differenza fra le distanze di due immagini relativamente all' occhio.

1334. Le esposte osservazioni relative alle variazioni della distanza radiale, possono servire a spiegare un fatto singolare che abbiamo citato, cioè come l'immagine prodotta dal raggio straordinario è sempre più affondata dell' altra sotto la base superiore del romboide.

Per comprendere la ragione di questa differenza, osserviamo primieramente che i raggi per i quali si vede l'immagine di un punto situato dietro a un mezzo diafano, formano un cono, la base del quale è contigua alla superficie del mezzo più vicino all'occhio. Sopra questa superficie essi si ripiegano verso l'occhio stesso, per effetto della refrazione, formando un cono tronco, di cui la base minore si confonde con la base del primo cono, e l'altra base, che è più dilatata, ha un diametro eguale a quello della pupilla, per la quale i raggi entrano nell'occhio.

1335. Qualunque opinione voglia adottarsi relativamente alla distanza precisa, dalla quale si scorge un'immagine veduta per refrazione (§. 1314), è certo che a eguaglianza di circostanze, questa distanza è maggiore, quando i due diametri delle due basi del cono troncato differiscono meno fra loro, e da ciò nasce che il vertice del medesimo cono prolungato col pensiero dietro alla superficie refrattiva, è più lontano da questa superficie.

1336. Ciò premesso, figuriamoci che *an* (*fig.* 103) rappresenti sempre lo stesso romboide, e che *p* essendo un punto visibile situato sulla base inferiore, *pkosr* sia il cono spezzato, per mezzo del quale l'occhio scorga in *p'* l'immagine ordinaria del punto *p*. Qui supponiamo primieramente che l'occhio sia situato in modo, che il raggio visuale si trovi nel piano della sezione principale; e in tal caso tutti i raggi straordinarii che corrispondono ai raggi ordinarii, i quali riuniti compongono il cono *pkosr*, non possono giungere all'occhio, come abbiamo osservato di sopra. Ma v'è un altro cono (*a*) formato da altri raggi straordinarii, per mezzo del quale l'occhio vede l'immagine straordinaria del punto *p*, ma del pari non può esser colpito dai raggi corrispondenti.

Prendiamo nel cono *kpo* i due raggi *pk*, *po*, i quali fanno capo

(*a*) Non abbiamo rappresentato qui il secondo cono per non rendere la figura troppo composta.

all'estremità del diametro situato perpendicolarmente alla diagonale *ae*, e ristabiliamo per un momento i due raggi straordinarii corrispondenti; e facilmente si vede che questi ultimi raggi devono trovarsi alle estremità *n*, *l* delle due linee oblique, relativamente alla diagonale *ae*, poichè in questo caso le distanze radiali divergono relativamente a questa diagonale, come abbiamo detto di sopra (§. 1332). Dunque se l'occhio fosse posto in modo da ricevere quei medesimi raggi, che son perduti per esso, perchè la loro distanza *nl* è maggiore della distanza *ko*, il punto di concorso immaginario di questi raggi, dietro alla superficie *adeh*, sarà più lontano di quello dei raggi ordinarii *kr*, *os*.

Da ciò concludiamo, che le leggi secondo le quali si refrangono i raggi straordinarii, tendono in generale a rendere la distanza fra questi raggi, considerati dalle due parti opposte, maggiore della distanza fra i raggi ordinarii considerati egualmente dalle due parti.

E un tal aumento di distaoza, che abbiamo trovato paragonando fra loro i raggi ordinarii che compongono il cono *pkosr* e i raggi straordinarii corrispondenti, dovendo sempre proporzionatamente esistere per gli altri raggi straordinarii che posson giungere all'occhio, e fargli vedere l'immagine straordinaria, ne resulta che la refrazioοe straordinaria tende a dilatare la base minore del cono troncato, più che non vi tenderebbe la refrazione ordinaria. Dunque se si supponga questo cono prolungato dietro alla superficie refrangente, il punto del suo asse, relativamente al quale si compensano tutte le direzioni, deve trovarsi più indietro, relativamente all'occhio e alla superficie refrattiva, del punto corrispondente del cono formato dai raggi ordinarii. Dunque ancora il luogo apparente dell'immagine straordinaria sarà più lontano di quello dell'immagine ordinaria.

1337 Facendo l'applicazione di questo ragionamento al caso in cui il raggio visuale fosse inclinato in parte opposta verso il punto *a*, troveremmo analoghe conseguenze.

Se il raggio visuale esce dalla sezione principale e inclina da una parte, in modo per esempio che si avvicini al punto *h*, allora *k'o'* (*fig.* 104) essendo la base inferiore del cono troncato, le linee *k'n'*, *o'l'* inclineranno dalla parte stessa; se non che la linea *o'l'* si allontanerà più della linea *k'n'* dalla direzione parallela ad *ae*, e quindi ancora *n'l'* sarà maggiore di *k'o'*, quantunque però in un rapporto minore, che quando il raggio visuale coincideva con la sezione principale. Ancora in questo caso adunque l'immagine straordinaria sarà veduta più lontana dell'immagine ordinaria; ma la differenza delle distanze sarà meno sensibile che nel primo caso, lo che ci è sembrato conforme all'osservazione.

CORSO DELLA LUCE A TRAVERSO DI DUE ROMBOIDI SOPRAPPOSTI.

1338. Figuriamoci ora che un raggio di luce passi a traverso di due romboidi situati uno sopra l'altro. Se le sezioni principali coincidono in un piano stesso, o sono parallele fra loro, tanto se i loro orli laterali *ab*, *en* (*fig.* 98) inclinino dalla medesima parte, quanto se inclinino in parti opposte (*fig.* 99), ciascuno dei due raggi ordinario e straordinario che saranno esciti dal primo romboide, non si decomporrà passando nel secondo, ma vi si refrangerà come nel primo.

1339. Se i due romboidi son disposti talmente, che le loro sezioni principali si incrocino ad angolo retto, allora ciascuno dei raggi esciti dal primo romboide resterà semplice, penetrando nel secondo, ma questi raggi agiranno in diverso modo, cioè quello che era il raggio ordinario nel primo romboide si dirigerà nel secondo come raggio straordinario, e reciprocamente.

1340. Ma in tutte le situazioni intermedie, cioè in quelle in cui le sezioni principali saranno inclinate fra loro, ciascuno dei raggi esciti dal primo romboide, si dividerà di nuovo nel secondo in un raggio ordinario e in un raggio straordinario, i quali si dirigeranno conformemente all'incidenza del raggio di cui saranno le suddivisioni. Questi importanti resultamenti sono di Huyghens (*a*).

1341. È da notarsi che i raggi straordinarii hanno questo di comune con i raggi ordinarii, che ripassando dal romboide nell'aria per una faccia parallela a quella per la quale vi erano entrati, prendono una direzione parimente parallela a quella del raggio incidente.

1342. Questi cambiamenti a cui sono soggetti i raggi nel passare fra due romboidi, ne producono altri analoghi al raddoppio delle immagini, come si rileva dall'esperienza seguente, soltanto con l'esporla.

Dopo aver messi i due romboidi a contatto per le loro basi, si posino sopra una carta bianca macchiata con un punto d'inchiostro. Se le facce omologhe di essi son parallele fra loro, l'occhio non vedrà che due immagini d'uno stesso punto, come se vi fosse un solo romboide, se non che saranno esse più scostate l'una dall'altra. In questo stato di cose si faccia girare adagio adagio il romboide superiore sopra l'inferiore, e ben presto si vedranno comparire due altre immagini, deboli in principio, ma che cresceranno poi in intensità, mentre le due prime immagini, dopo essersi gradatamente indebolite, finalmente spariranno affatto;

(*a*) *Crist. Eugenii Opera reliqua*, Amstel. 1728. *Tractatus de Lumine*, p. 67 e seg.

e ciò accaderà prima che il romboide mobile abbia fatto un quarto di rivoluzione: passato questo termine, se si continui a farlo girare, accaderanno gli stessi effetti in ordine inverso, cioè le due prime immagini compariranno di nuovo, e il loro colore languido in principio, diventerà a poco a poco più cupo, mentre le altre due scemeranno in intensità, finchè poi spariranno totalmente verso il fine della semi-rivoluzione del romboide mobile (*a*).

Allora le sezioni principali essendo voltate per un verso contrario, sempre però sopra un medesimo piano (*fig.* 99), l'occhio non vedrà più che due sole immagini, ma però meno distanti fra loro che nel primo caso; e non ne vedrebbe anzi che una sola, se i due romboidi fossero esattamente della stessa altezza. Compiendo la rivoluzione del romboide superiore, compariranno nuovamente gli effetti precedenti, ma in un ordine inverso.

1343. Fin qui non abbiamo considerato se non i resultamenti delle osservazioni, che si presentano quasi naturalmente ad un occhio alquanto attento: ora passeremo ad esporre le diverse opinioni dei fisici, relativamente alla determinazione della legge alla quale è soggetto il fenomeno, riserbando per ultima quella di Huygens, in faccia alla quale tutte le altre sono sparite.

TEORIA DI NEWTON.

1344. Newton, che aveva creato il sistema dell'emissione, era per questa ragione appunto l'unico fra i fisici, agli occhi del quale l'ipotesi delle ondulazioni doveva fare il maggior torto alla legge che Huygens ne aveva dedotta. Avendo riguardate le due ipotesi come inseparabili una dall'altra, confinò in un medesimo angolo quella che avrebbe dovuto fissare la sua attenzione, con quella che gli sembrava non meritarne alcuna. Ne cercò dunque un'altra, e credette di riconoscere la vera da due caratteri che aveva dedotti dalle sue osservazioni, cioè che sotto qualunque inclinazione del raggio incidente, la lunghezza della distanza radiale era costante; e che essa era costantemente parallela alla piccola diagonale della base del romboide. Ma noi abbiamo provato con osservazioni decisive, che accade appunto tutto l'opposto; e da ciò re-

(*a*) Tutti questi effetti son soggetti ad eccezioni quando il raggio visuale è molto obliquo, e quando si situa in certi modi particolari; poichè allora non si veggono che due immagini nel caso in cui dovrebbero vedersene quattro, e reciprocamente. Facilmente si comprenderà tutto questo dopo ciò che diremo in seguito relativamente alla luce polarizzata.

sulta che Newton riguardò come costanti certe qualità che erano variabili.

Sembra che quell'illustre fisico abbia fatte le sue esperienze con romboidi di poca altezza, e non avendo potuto misurare abbastanza precisamente le distanze e le situazioni dei raggi di luce che egli introduceva immediatamente in questi corpi, sarà stato strascinato dalla massima semplicità della legge, la quale pareva che si presentasse naturalmente alla sua osservazione.

TEORIE DI LA HIRE E DI BUFFON.

1345. Abbiamo veduto che quando il raggio $s't'$ (*fig.* 98) cadeva sulla base d'un romboide di spato d'Islanda ad un angolo di circa 74°, il raggio straordinario $t'f'$ che ne derivava, andava per la stessa direzione, dimanierachè l'immagine che esso faceva nascere si vedeva nel suo posto naturale. Se si conduca $t'p$ perpendicolare sopra $s't'$, e supponendo un piano che passi per la prima di queste linee, e la sezione del quale sulla base del romboide faccia un angolo retto con la diagonale ae, accaderà di questo piano come dei piani ordinarii relativamente ai raggi che son soggetti alla legge della refrazione comune, poichè i raggi che passano senza inflessione son sempre perpendicolari a questi piani.

La Hire che aveva misurati gli angoli d'incidenza e di refrazione del raggio straordinario, relativamente a un piano situato come quello di cui abbiam parlato di sopra, aveva trovato che il rapporto fra i seni era quasi come 3 : 2, come quando la luce passa dall'aria nel vetro; ed essendogli sembrato costante questo rapporto, ne aveva concluso che la refrazione del raggio straordinario doveva rassomigliarsi a quella dei raggi ordinarii, se non che il piano a cui essa si riferiva, aveva una situazione diversa (*a*).

1346. Ma il calcolo dimostra ciò che forse si poteva indovinare anticipatamente, cioè che i rapporti che resultano da questa ipotesi di La Hire fra le diverse distanze radiali, non variano nello stesso ordine di quelli che resultano dalle immediate osservazioni che abbiamo citate. Dall'altra parte il piano a cui si riferisce la seconda refrazione nella stessa ipotesi, è puramente immaginario, e totalmente contrario alla struttura cristallina del romboide. Esisterebbe con essa una relazione apparente, se questo piano fosse perpendicolare al canto en, il quale in direzione non si allontana che circa 2° dal parallelismo col raggio $s't'$, ma forse La Hire non aveva osservata questa piccola divergenza. Bartolini era

(*a*) *Memoir de l'Acad. des Sciences.* 1710.

caduto nel medesimo errore, e Huygens parlando di questa divergenza, dice che merita d'esser notata, affine di non esporsi a una fatica inutile, cercando la causa della refrazione straordinaria in un parallelismo che non esiste (*a*).

1347. Molti fra i fisici che hanno adottata l'idea di ridurre le due refrazioni a uno stesso genere di leggi, e fra questi il celebre Buffon (*b*), hanno creduto che un romboide di calce carbonata fosse composto di strati incrociati fra loro di due diverse densità Perchè questa ipotesi si accordasse con l'osservazione, bisognava che fra questi strati, gli uni si estendessero parallelamente alla base del romboide, e gli altri parallelamente al piano che passa per *t'p* (*fig.* 98). Quando un fascio di luce cadeva sulla superficie del romboide, i raggi di cui esso era composto incontravano, alcuni certe molecole della materia più densa, altri certe altre molecole di quella più rara; e da ciò resultavano due refrazioni particolari, ciascuna delle quali era soggetta alle leggi ordinarie.

Ma contro questa ipotesi esiste un fatto che può facilmente verificarsi, poichè se a traverso di un romboide si guarda un punto visibile, situando l'occhio in modo che il raggio visuale sia perpendicolare alla base di questo romboide, l'immagine ordinaria di questo punto si vedrà nel suo posto naturale, cioè comparirà situata sul prolungamentn del raggio visuale, che in questo caso farà le veci di un raggio incidente. Ma nella citatata ipotesi, il raggio il quale, partendo dal punto visibile portasse all'occhio l'immagine di questo, sarebbe continuamente soggetto a nuove inflessioni, a misura che incontrasse obliquamente i varii strati paralleli al piano che passa per *t'p*; e da ciò segue che l'immagine del punto visibile non potrebbe scorgersi nel suo vero posto.

TEORIA DI HUYGENS.

1348 Nel raccontare tutto ciò che riguarda la scoperta della vera legge a cui è soggetta la refrazione straordinaria, ci siamo limitati a dire che Huygens, il quale la scoprì, l'aveva fatta dipendere dal sistema delle ondulazioni, fondandosi sull'ipotesi di due onde di figura diversa. Noi parliamo qui nuovamente di questa circostanza, per esporre il modo con cui questo celebre fisico aveva adattata una tale ipotesi alla spiegazione dei fenomeni. Delle due figure che egli attribuiva alle onde, una, che era sferica, apparteneva a quelle che producevano la refrazione ordinaria; e l'altra che si riferiva a un'ellissoide, distingueva quelle

(*a*) *Opera reliqua*, Amstelod., t. I, p. 45.
(*b*) *Histoire natur. de Minéraux*, t. VII, p. 157 e seg.

che producevano la refrazione straordinaria. Huygens supponeva, che la faccia del romboide la quale riceveva il raggio incidente, tagliasse in due parti eguali l'ellissoide che faceva nascere questa seconda refrazione, dimanierachè la metà inferiore dell'onda si estendeva sola nel romboide; e l'arte con cui egli aveva combinato la situazione dell'asse maggiore dell'ellissoide, il rapporto fra questo e l'asse minore, e le altre dimensioni dello stesso solido, eran tali, che prendendo per dati i numeri che rappresentavano queste diverse linee, giungeva a determinare la direzione del raggio straordinario, purchè fosse nota quella del raggio incidente; e trovando tanto concordi i resultamenti della teoria e dell'osservazione, si era convinto che la sua costruzione rappresentava la legge della natura.

Wollaston che fu il primo a verificare questo accordo, lo trovò sì giusto, che ne dedusse per conseguenza, che i principii d'Huygens meritavano di fissare l'attenzione dei fisici. Malus avendo resa libera questa legge da una costruzione la quale non serviva che a occultarla, la ridusse a una formula analitica, che la mostrava qual era, e che applicata poi in tante maniere servì a confermare che essa aveva tutti i caratteri di vera legge. Questa legge aveva un'altra proprietà, la quale però non era sua esclusivamente, come vedremo fra poco, cioè sotto due inclinazioni eguali del raggio incidente, ma in direzioni contrarie, la somma delle due distanze radiali era una quantità costante.

Ma per quanto sieno importanti i resultamenti di queste ricerche, non leggiamo finora in essi se non un'espressione geometrica di questa legge; e sarebbe infinitamente utile il riguardarla fisicamente, e sotto questo aspetto darne una spiegazione. E a questo scopo infatti, sono dirette in gran parte le ricerche di Laplace su questo argomento; poichè egli ha veduto che la legge di Huygens soddisfaceva al principio della minima azione, e da questo carattere, come pure da altri dello stesso genere ha concluso, che essa, egualmente che la refrazione ordinaria, si riferisce al principio di forze che non esercitano un'azione sensibile se non a distanze infinitesime (a). Da quanto ha fatto Newton per rischiarare questa teoria, possiamo dedurre ciò che resti da farsi per la spiegazione della suddetta legge.

1349. Non era ancor nota o non ancora apprezzata la spiegazione d'Huygens, quando noi stessi abbiamo proposta una determinazione di quella legge; la qual determinazione però sembrandoci poco esatta,

(a) *Nouveau Bulletin des Sciences de la Société philomatique*, 1807, t. I, p. 303 e seg. *Mémoir. de Phys. et de Chim. de la Société d'Arcueil*, tom. II, p. 111, e seg.

l'abbiamo proposta soltanto come approssimativa (a); e il paragone che in seguito è stato fatto di questa con quella d'Huygens, ha provato che noi ci eravamo avvicinati realmente alla verità (b). Per questo motivo appunto la proponiamo qui nuovamente, giacchè presenta un mezzo semplice e facile tanto di render sensibile all'occhio il corso del raggio straordinario quando coincide con la sezione principale del romboide, quanto di verificarlo per mezzo dell'esperienza. Ecco in che consiste questa determinazione (c).

1350. Abbiamo veduto (§. 1323) che quando il raggio incidente *st* (*fig.* 97) era perpendicolare ad *adeh*, nel qual caso il raggio ordinario proseguiva il suo corso nel romboide, il raggio straordinario inclinava verso il piccolo angolo solido *b*. Supponiamo che la linea *ax* (*fig.* 106) abbassata dall'angolo *a* perpendicolarmente sulla diagonale *bn*, rappresenti il raggio ordinario: in tal caso, se si prenda *xy* eguale al terzo di *bx*, e si conduca *ay*, quest'ultima linea rappresenterà il raggio straordinario relativo all'incidenza perpendicolare sopra *ae*.

Sia ora *st* un raggio incidente obliquo sopra *ae*, e *tl* il raggio refratto ordinario, la situazione del quale può determinarsi facilmente, per mezzo del rapporto 5 : 3 dei seni. Si cerca la situazione del raggio straordinario *tf*.

Per il piede della linea *ax* si conduca *xo* che faccia con *ax* un angolo di 60°; quindi per il piede del raggio ordinario *tl* si conduca *lm* parallela a *xo*. Si prenda sopra *lm* la porzione *lu* eguale a *xz*: la linea *tf*, condotta per il vertice del raggio ordinario e per il punto *u*, sarà la direzione del raggio straordinario relativo all'incidenza nella direzione *st*.

Se l'incidenza accada in parte contraria in una direzione *s't'*, poichè il raggio ordinario è rappresentato in tal caso da *t'l*, il raggio straordinario *t'f'* sarà sempre situato fra il precedente e l'angolo *b*, e così con

(a) Vedasi la seconda edizione di questo Trattato, t. II, p. 347 e seg.

(b) Malus, *Théorie de la double Réfraction*, pag. 293.

(c) Per costruire la sezione principale, si segni a piacere una linea *an* (*fig.* 105) che sarà l'asse del romboide, quindi divisa questa linea in tre parti eguali, si facciano passare per i punti di divisione *o*, *r* due altre linee *bs*, *ge*, perpendicolari ad *an*, e le parti delle quali *os*, *gr* sieno eguali ad *ao* o ad *nr*, e le parti opposte *bo*, *er*, doppie delle prime. Il quadrilatero *aenb* sarà la sezione principale proposta.

Fra tutti i romboidi possibili, nei quali la diagonale *ae* si suppone costante, il solo romboide di spato d'Islanda ha la proprietà d'aver massima la superficie della sezione principale. In tal caso il rapporto fra le due diagonali di ciascun rombo è quello di $\sqrt{3}$ a $\sqrt{2}$ che abbiamo adottato.

una costruzione simile a quella indicata relativamente al raggio incidente *st*, troveremo la distanza radiale (*a*).

1351. Da ciò si vede che *lu* o *l'u'* è una costante, ma l'ampiezza *lf* o *l'f'* è necessariamente una variabile. Se le due incidenze *st*, *s't'* sieno eguali in direzione contraria, *f' l'* sarà minore di *fl*, dimanierachè la loro somma sarà doppia della distanza radiale *xy*, relativa all'incidenza perpendicolare: dunque questa somma ancora sarà una costante. Huygens aveva dedotto questo medesimo resultamento dalle proprietà dell'ellisse, di cui egli attribuiva la figura all'onde della luce, che secondo lui producono la refrazione ordinaria. Ma nella nostra teoria questo resultamento si riduce alle proprietà delle linee rette; ed è anzi dimostrato che ciò accade sempre, qualunque sia il valore degli angoli *bxo*, *xay*, purchè si prenda *lu* o *l'u* eguale a *xz*. Fra tutti i casi possibili abbiamo scelto quello che ci è parso più adattato all'osservazione; ed è cosa singolare che questo caso sia quello in cui la linea *ox* fa con *ax* un angolo di 60°, mentre con *ao* fa un angolo quasi di 10° ½, cioè eguale al grande angolo del rombo primitivo (*b*).

(*a*) Abbiamo data una formula generale che esprime questo resultamento, nelle Memorie dell'Accademia delle Scienze, 1788, p. 45. Vedasi ancora il trattato di Mineralogia, t. II, p. 45.

(*b*) Applichiamo col pensiero *t'l'* sopra *tl*, rovesciando la base *f'l'* del triangolo *l't'f'*, in modo che il punto *f'* cada sul punto *c*, dall'altra parte del raggio *tl*, e il punto *u'* sul punto *p*. Se si conducano *lp* e *up*, quest'ultima linea sarà evidentemente parallela a *bn*, a motivo dell'uguaglianza degli angoli *ulf*, *plc*, e di quella delle linee *lu*, *lp*; e inoltre la linea *lc* sarà eguale alla somma delle due distanze *lf*+*l'f'*. Ora, se si supponga che il raggio *tl* muti inclinazione, restando fisso con la sua estremità *l*, e supponendo sempre costanti *lu*, *lp*, ancora le linee *tc*, *tf* resteranno fisse per i loro punti *p*, *u*, mentre le loro estremità superiore e inferiore si muoveranno lungo le linee *ae*, *bn*. Dunque in tutti i casi sarà *tp* : *tc* :: *up* : *fc*. Ma è chiaro che a motivo delle parallele *ae*, *up*, *bn*, il rapporto $\frac{pt}{tc}$ è costante, dunque sarà pure costante il rapporto $\frac{up}{fc}$; e poichè *up* è costante, sarà tale ancora *fc*. Ma quanto più il raggio *tl* si avvicina al parallelismo con la perpendicolare *tm*, tanto più *tf* si avvicina all'eguaglianza con *xy*, dunque se si supponga che la direzione *tl* differisca pochissimo dalla perpendicolare, potremo riguardare la linea *fc*, o la somma delle due linee *fl*, *f'l'* come eguale a 2*xy*; e poichè questa somma è costante, in tutti i casi sarà doppia di *xy*. Questa dimostrazione, come ognun vede, è indipendente dalla situazione della linea *ox*, o dall'angolo che essa fa con la diagonale *bn*.

Idea di Newton sulla causa fisica della doppia refrazione.

1352. Diamo ora un' idea della causa fisica da cui dipende il fenomeno. Quantunque quella immaginata da Newton sembri singolare anco a prima vista, pure comparisce ancor più bella e più ingegnosa esaminata da vicino, e paragonata coi fatti osservati.

Quel gran geometra supponeva che le molecole della luce avessero due specie di poli, sui quali la materia della calce carbonata esercitasse un' azione particolare, il centro della quale fosse nel piccolo angolo solido. Con questa idea considerava ciascun raggio semplice come un prisma quadrangolare sottilissimo, in cui tutti i poli suddetti erano disposti su due facce opposte, che noi chiameremo *facce di refrazione straordinaria.* Quando il raggio penetrando nel romboide, andando per esempio dalla base superiore *adeh* verso l'inferiore *bcng* (*fig.* 97), presentava una di quelle facce all'angolo solido *b*, l'azione del romboide l'attraeva a se, mentre quando presentava allo stesso angolo *b* una dell'altre due facce, che posson chiamarsi *facce di refrazione ordinaria*, la materia del romboide non aveva sopra di esso altra azione, che quella che le è comune con gli altri mezzi ordinarii.

Ciò premesso, fra tutti i raggi semplici di cui è formato un fascio di luce che cade sulla superficie d'un romboide, alcuni avranno le loro facce di refrazione ordinaria, e gli altri le loro facce di refrazione straordinaria voltate verso il piccolo angolo solido. Il fascio si dividerà dunque in due parti, una delle quali sarà soggetta soltanto alla refrazione ordinaria, mentre l'altra, attratta dalla forza che risiede nel piccolo angolo solido, sarà soggetta alla refrazione straordinaria.

1353. Questa ipotesi acquista un nuovo grado di verisimiglianza, quando si applica al fenomeno delle quattro immagini prodotte dalla soprapposizione di due romboidi (§. 1342), e alle variazioni d'intensità di queste immagini, a misura che si eseguisce la rivoluzione del romboide superiore. Questi effetti indicano che il fascio dei raggi straordinarii, nel quale tutte le facce di refrazione del medesimo nome erano in principio esattamente voltate verso quel punto, da cui emana la forza che agisce sopra essi, si suddivide a poco a poco a misura che questo punto cambia situazione, mentre gira il romboide; dimanierachè le molecole luminose l'une dopo l'altre si sottraggono alla forza attrattiva, per soffrire la refrazione ordinaria. Accade l'opposto relativamente ai raggi dell'altro fascio, che avevano in principio le loro facce di refrazione straordinaria situate ad angolo retto sulla parte dalla quale emana la forza che produce questa refrazione; poichè queste facce tro-

vandosi a poco a poco in una situazione più favorevole, relativamente a questa forza, vanno soggette le une dopo le altre alla sua azione; e in fine il fascio resta interamente soggetto alla medesima. Sembra dunque che si vegga un'affinità che cresce o scema in intensità, secondo che più o meno si oppongono alla sua energia i corpiccioli sui quali essa agisce; sicchè il numero dei corpiccioli attratti cresce o scema esso pure in proporzione.

Generalità degli effetti della refrazione, osservati primieramente nei romboidi soprapposti di spato d' Islanda.

1354. I varii corpi nei quali era stata trovata questa proprietà di raddoppiare le immagini, servirono per lungo tempo separatamente per le esperienze nelle quali la manifestavano. I fenomeni che si osservano in due romboidi calcarei di cui si combinino le azioni, sembravano indicare uno di quei caratteri atti a far distinguere fra tutte le sostanze quella che particolarmente ne portava l'impronta, quando Malus scoprì che questi fenomeni non solo non erano proprii esclusivamente dello spato d'Islanda, ma anzi si estendevano a tutti i corpi dotati di doppia refrazione (a). E per osservar ciò, non è neppur necessario associare due cristalli della medesima specie: così uno potrebbe appartenere al piombo carbonato o alla barite solfata, e l'altro al quarzo o allo zirconio; le quali sostanze agiscono fra loro come due romboidi di spato d'Islanda.

1355. Per verificare con l'esperienza questa proprietà, si può guardare la fiamma d'una candela a traverso di due prismi delle stesse sostanze, posti uno sull'altro, e in generale si vedranno quattro immagini di questa fiamma. Ma se si gira adagio adagio uno dei prismi intorno al raggio visuale preso per asse, le quattro immagini si ridurranno a due, ogni qual volta le facce contigue saranno parallele o perpendicolari fra loro. Nè le due immagini che spariscono si confondono già con le prime, ma si veggono estinguersi a poco a poco, mentre l'altre due diventano più intense. I raggi ordinario e straordinario che escono da uno dei due corpi per passare nell'altro, conservano lo stesso uffizio di prima, o lo cambiano con le stesse condizioni che nell' esperienza fatta con due romboidi di spato d'Islanda.

1356. Il solfo si trova qui in un caso particolare Noi abbiamo riconosciuto che i pezzi di questo combustibile, tagliati in due piani paralleli fra loro, e situati sopra una carta segnata con un punto o con una linea, esercitavano sulla luce refratta la stessa azione dello spato

(a) *Théorie de la duble Réfraction*, n°. 47, p. 219.

d'Islanda. Segue da ciò, che può variarsi l'esperienza, combinando con un romboide dello stesso spato un pezzo di solfo tagliato nel modo indicato. Soprapposti in qualunque ordine questi due corpi, se si fa girare adagio adagio quello che è sopra, si vedranno successivamente due o quattro immagini d'uno stesso punto, in circostanze eguali a quelle che dipendono dal concorso dei due romboidi calcarei.

DELLE DUE SPECIE DI REFRAZIONE CHIAMATE UNA *ATTRATTIVA* E L'ALTRA *REPULSIVA*.

1357. Abbiamo veduto che quando un raggio di luce che passa a traverso d'un romboide di spato d'Islanda è situato nel piano della sezione principale, il raggio straordinario che ne deriva si porta più del raggio ordinario verso l'angolo acuto di questa sezione, facendo un angolo più aperto con la perpendicolare condotta dal punto d'incidenza sulla superficie refrattiva. Biot avendo paragonato le situazioni dei due raggi. relativamente alla stessa perpendicolare in varie sostanze minerali che hanno la proprietà della doppia refrazione, ha scoperto che qualche volta esse si rassomigliano a quelle che si osservano nello spato d'Islanda, e qualche volta accadono in modo inverso, sicchè il raggio straordinario si allontana dalla perpendicolare meno del raggio ordinario. Lo stesso fisico ha dato il nome di *attrattiva* a quest'ultima specie di refrazione, e fra i corpi che le sono soggetti cita il quarzo e la barite solfata: la prima specie è quella che egli chiama *repulsiva*, osservata da lui, fra le altre sostanze, nello smeraldo detto berillo e nella tormalina.

Cita inoltre alcune esperienze, per mezzo delle quali si può conoscere quale delle due refrazioni esiste in una data sostanza, e scoprire in tal modo in qualunque caso l'effetto di una distinzione che ha il doppio vantaggio di illuminarci maggiormente sull'andamento dei fenomeni, e di rendere più precisa la teoria dei medesimi.

DEI LIMITI RELATIVI ALLA DOPPIA REFRAZIONE, CHE ESISTONO NELLA STRUTTURA DEI CRISTALLI.

1358. Qualunque cristallo trasparente, dotato di doppia refrazione, a qualunque sostanza esso si riferisca, può esser tagliato con sezioni fatte in mille modi diversi da due piani inclinati uno sull'altro, e parallele a quelle facce secondarie che potrebbero nascere da due leggi diverse di decrescimento, o parallele una ad una faccia primitiva, l'altra ad una faccia secondaria. Fra tutte le combinazioni binarie che nascono da questa

suddivisione, relativamente ad una medesima sostanza, ve n'è una che ha la proprietà di presentare sensibilmente semplici le immagini degli oggetti visti per refrazione a traverso delle due facce che la formano.

1359. Nello stesso caso accade sempre che una delle due facce è perpendicolare all'asse del cristallo, o coincide con l'asse medesimo, dimanierachè i resultamenti delle osservazioni si riferiscono a due limiti presi nel meccanismo della struttura. Il limite relativo a ciascun caso particolare dipende dalla specie a cui appartiene quel cristallo di cui ci serviamo per una data esperienza.

1360. È raro che le due facce refrangenti indicate non esistano naturalmente sopra qualcuna delle varietà prodotte immediatamente dalla cristallizzazione; dimanierachè le situazioni e le inclinazioni scambievoli delle stesse facce, sono anticipatamente determinate dalla teoria. Queste varietà presentano altresì come i tipi naturali dei solidi destinati all'osservazione delle due specie di refrazione.

1361. Per citare qualche esempio, daremo la preferenza ai cristalli che derivano dal romboide primitivo della calce carbonata, perchè gli effetti delle suddette facce refrangenti, si presentano in questo con certi caratteri che li fanno distinguere fra quelli che si osservano nelle altre sostanze.

Prendiamo di nuovo il prisma esaedro *hd* (*fig.* 107) già rappresentato altra volta (T. I, *fig.* 5), e dal quale estraemmo, per mezzo della divisione meccanica, il romboide primitivo; e limitiamoci a una sola sezione *splu*, la quale sarà parallela alla faccia corrispondente del romboide. Se si guarda uno spillo a traverso del trapezio *splu*, e della faccia *abrk* opposta a quella adiacente al trapezio (*a*), l'immagine dello spillo sarà portata molto in alto dalla refrazione che sarà doppia; sicchè le due immagini saranno distanti, per quanto ci è sembrato a una semplice occhiata, 25 centimetri incirca, ossia 2 pollici, e l'angolo refrattivo è di 45°.

Supponendo quindi un'altra sezione del romboide primitivo, rappresentato dalla *fig.* 108, eseguita con un piano *mnr* (*fig.* 109) perpendicolare all'asse, e se si guardi lo spillo a traverso di questo piano, in modo che il raggio visuale sia perpendicolare ad esso, e il suo prolungamento passi per lo spillo, l'immagine in tal caso sarà semplice; ma se il raggio visuale si allontani dalla sua situazione, inclinando da una parte o dall'altra, l'occhio vedrà due immagini.

(*a*) Consideriamo qui questa faccia, in vece di quella che coincide con l'asse del cristallo, lo che non cambia nulla nell'osservazione, poichè queste facce si riguardano come parallele; e faremo lo stesso per i casi seguenti.

Accaderà lo stesso effetto se il romboide venga tagliato da un altro piano (*fig.* 110) parallelo al primo, cioè l'immagine sarà semplice o doppia, come nel caso precedente, relativamente alla direzione del raggio visuale.

1362. Quando si fa l'esperienza col primo romboide (*fig.* 109), e l'immagine è semplice, il raggio refratto che è entrato in questo romboide, perpendicolarmente al piano *mnr*, facendo angoli eguali con le tre facce *gmnbx*, *grnbx*, *amrgo*, e con le loro parallele, non è spinto a portarsi più da una parte che dall'altra, e però resta sulla direzione dell'asse; e passando di nuovo nell'aria per una delle facce inferiori, si refrange secondo la legge ordinaria.

1363. Paragoniamo ora gli effetti sopra descritti con i loro analoghi in un cristallo di quarzo. La forma ordinaria di questo minerale è un prisma esaedro regolare, (*fig.* 111), terminato da due piramidi rette dello stesso numero di facce Tre di queste facce prese alternativamente verso ciascun vertice, come *cbd*, *fbg*, *abh*, e le loro parallele nel vertice inferiore, appartengono ad un romboide che è la forma primitiva; dimanierachè se si guarda uno spillo a traverso della faccia P, per esempio, e la faccia *hgry* situata dalla parte opposta, le due facce refrattive faranno respettivamente lo stesso uffizio delle facce *psul*, *abrk*, sul cristallo di calce carbonata, che abbiamo considerato precedentemente, e compariranno all'occhio due immagini dello spillo, come a traverso di queste ultime facce; se non che saranno meno lontane fra loro (*a*). In questo caso l'angolo refrattivo sarà di 38° 20′.

Prendendo sempre la faccia P per una delle facce refrattive, se in vece della faccia *hgry* si prenda una faccia artificiale *lmnory* perpendicolare all'asse, l'immagine sarà semplice, e ciò in qualunque direzione del raggio visuale, nel che questa osservazione differirà dalla sua corrispondente, quando si fa uso d'un cristallo di calce carbonata.

1364. Bisogna qui prevenire una causa d'illusione che esiste in certi cristalli di quarzo, e che si trova ancora in molti di quelli che appartengono ad altre sostanze. Questa dipende da certi piccoli difetti di continuità, chiamati punti bianchi o punti ghiacciati, e da altri accidenti che intercettano i raggi o disturbano il loro corso, e in questo ultimo caso accade talvolta che la refrazione comparisce doppia mentre è semplice. È ben vero però che le false immagini prodotte da questa causa, sono

(*a*) Accaderà lo stesso effetto, se per facce refrattive si prendano i triangoli *dbf*, *abc*, che si alternano con i precedenti, combinandoli con le facce che corrispondono ad essi dalla parte opposta. La struttura del cristallo è adattatissima a questa sostituzione.

molto più deboli delle vere ; ed è facile il riconoscerle, perchè esse cambiano situazione relativamente a queste ultime, comparendo ora sopra ora sotto di esse, secondo che la pietra viene inclinata o da una parte o dall'altra ; e v'è un certo grado d'inclinazione in cui spariscono interamente. Ma il cristallo che ha servito alle osservazioni precedenti è assolutamente esente da queste imperfezioni, perchè è trasparente al pari dell'acqua più limpida, e non v'è nulla che alteri l'unità dell'immagine a traverso di due facce, una delle quali è perpendicolare all'asse.

Le altre sostanze di cui parleremo, sono nello stesso caso del quarzo; e l'immagine che era semplice quando il raggio visuale era in una direzione perpendicolare a una delle facce refrangenti, non cessa d'esser tale a giudizio d'un occhio esercitato ed attento, qualunque sia l'inclinazione del medesimo raggio. Intanto ci limiteremo per ora ad annunziare il fatto, riserbandoci di esporre, alla fine di questo articolo, le riflessioni che nascono osservandolo, quando si paragona con se stesso, prendendo per termini di comparazione da una parte un cristallo di calce carbonata, e dall'altra prendendo cristalli scelti fra quelli di una specie diversa.

1365. Prenderemo il primo esempio dallo smeraldo, e per modello del soggetto delle osservazioni prenderemo un cristallo di quella varietà che chiamiamo *anulare*, rappresentato dalla *fig.* 117. La sua forma primitiva è il prisma esaedro regolare, che resulterebbe dal prolungamento delle facce P, M, M, ec, se non che questo prisma è qui modificato da certe faccette secondarie *t*, *t'*, che sono in luogo dei canti del contorno della base. La refrazione segue il medesimo andamento che nel quarzo, e l'immagine è semplice a traverso di una delle faccette secondarie, come *t*, e della base *ursxyz* opposta a P; ed è doppia a traverso della faccia stessa e della faccia *onsr* situata dalla parte opposta. Nel primo caso l'angolo refrangente è di 30°, e nel secondo è di 60°. Ma fra tutte le sostanze che abbiamo osservate, non ve n'è una che produca tanto piccola la doppia refrazione quanto lo smeraldo, a traverso del quale non principiano a comparir distinte le due immagini se non quando lo spillo è lontano dal cristallo 5 decimetri ossia 1 *pi* ½ incirca. Per le nostre osservazioni ci siamo serviti dei cristalli diafani, di smeraldo di Siberia, detto *berillo*, e di pezzi tagliati di una trasparenza perfetta.

1366. Osserviamo ora la barite solfata, la quale ha per forma primitiva un prisma retto romboidale A *a'* (*fig.* 114), in cui la maggiore inclinazione delle facce M, M è di 101° 32'.

Il caso in cui l'immagine è doppia esiste naturalmente in una varietà che chiamiamo *apofana*, rappresentata dalla *fig.* 115. Invece degli

angoli solidi ottusi A, A′ (*fig.* 114) delle basi; vi sono altrettante faccette secondarie *d*, *d′* (*fig.* 115) d'una figura triangolare. Guardando lo spillo a traverso di una di queste faccette *d*, e della base opposta a P, nel qual caso l'angolo refrangente è di 39° 11′, si vedono distintamente due immagini parallele alla gran diagonale E E′ (*fig.* 114); e si vedrebbero ancora in una direzione parallela alla piccola diagonale AA′, se si guardassero a traverso di una faccetta che intercettasse uno degli angoli solidi E, E′, e la base opposta a P. V'è ancora un'altra varietà di barite solfata, che ha una forma comodissima per questa osservazione.

Relativamente alle facce refrangenti che producono le immagini semplici, bisogna fare una distinzione, perchè in tal caso una di queste facce può coincidere col piano che passa per le grandi diagonali EE′, *ee′*, o con quello che passa per le piccole diagonali AA′, *aa′*. Qui dunque si presentano due osservazioni, in ciascuna delle quali il piano condotto per una delle diagonali si combina con una delle facce laterali M, M.

1367. Una di queste osservazioni può farsi per mezzo della varietà che chiamiamo *ristretta*, e che presenta due faccette come s (*fig.* 116) parallele al piano che coincide con la gran diagonale E E′ (*fig.* 114). Per la seconda osservazione possiamo servirci d'un'altra varietà chiamata *raccorciata*, nella quale la faccetta *k* (*fig.* 117) e la sua opposta son situate al contrario parallelamente alla piccola diagonale. La prima varietà presenta l'immagine semplice, a un osservatore che guarda a traverso di una delle basi M (*fig.* 116) e della faccetta opposta ad *s*, cioè parallela al piano che passa per le grandi diagonali; e in tal caso l'angolo refrattivo è di 50° 46′. Avendo fatta l'osservazione con l'altra varietà, la refrazione sarebbe stata doppia; e si sarebbe concluso che per vederla semplice, bisognava sostituire al piano suddetto uno di quelli che coincidono con le facce *k* (*fig.* 117)

È facile trovar corpi per mezzo dei quali verificare le osservazioni precedenti, traendo partito dalla gran facilità con cui le masse lamellate di barite solfata cedono alla divisione meccanica, quando vogliamo estrarne il prisma romboidale della forma primitiva; e quindi potremo far nascere su questo prisma alcune faccette artificiali, che abbiano con questo prisma la stessa relazione di quelle che esistono sui cristalli naturali.

1368. Termineremo questo articolo con alcune osservazioni relative alle sostanze dotate della doppia refrazione, la forma primitiva delle quali è un ottaedro, in cui la base comune delle due piramidi di cui è formato, è, secondo le varie specie, un quadrato, un rettangolo, un rombo. Spesso accade che queste due piramidi son separate da un prisma intermedio, prodotto in virtù d'una legge di decrescimento, oppure

che l'ottaedro stesso per essersi allungato da una parte, si presenti in forma prismatica; e in ambedue queste circostanze abbiamo il vantaggio di poter rendere più semplici e più facili le applicazioni del metodo, sostituendo all'ottaedro il prisma che ne deriva.

1369. Prenderemo per esempio i cristalli di topazzo, la forma primitiva del quale rappresentata dalla *fig.* 118, si riferisce al secondo caso, cioè il quadrilatero *efgh* che fa le veci di base, è un rettangolo: l'inclinazione di M sopra M' è di 122° 42', e quella di P sopra P' è di 88° 2'. Le facce di questo ottaedro esistono sopra molte varietà fra quelle che sono secondarie; e in tutti i cristalli che abbiamo osservati fin qui, la parte media, astraendo dalle quattro basi addizionali, presenta la forma di un prisma retto romboidale (*fig.* 119), nel quale l'inclinazione scambievole delle basi *acxo*, *bcxy* è di 124° 22' (*a*). La divisione meccanica dei cristalli si eseguisce molto facilmente nella direzione di due delle più distinte commettiture naturali, situate parallelamente alle basi del prisma. Ora, il rapporto di situazione che esiste fra questo medesimo prisma e l'ottaedro è tale, che le diagonali condotte, una da *a* in *b*, l'altra da *c* in *d* son parallele, la prima al lato *fg* (*fig.* 118) del rettangolo *efgu*, e la seconda al lato *ef*.

1370. Ciò premesso, sarà facile determinare, relativamente al prisma, quali debbano essere le situazioni delle facce refrangenti da osservarsi. Primieramente, in vece dell'angolo solido *c* (*fig.* 120) si faccia nascere una faccia triangolare *fgn*, il lato *fg* della quale sia parallelo alla diagonale compresa fra i punti *a*, *b*, e che sia inclinata sulla base 51° $\frac{1}{3}$; e al canto *dn*, situato dalla parte opposta, si sostituisca una faccia rettangolare *hluk* situata parallelamente alla stessa diagonale. Se si guarda uno spillo a traverso di queste due facce, la sua immagine sarà visibilmente raddoppiata; e in questo caso l'angolo refrangente è di 28° $\frac{2}{3}$. Se quindi si guarda il medesimo spillo a traverso della faccia *fgn* e della base *onxz*, l'immagine comparirà semplice.

1371. È facile trovare nella struttura dell'ottaedro le facce analoghe alle facce refrangenti che esistono in quella del prisma. Alla faccia triangolare *fgn* corrisponde il triangolo *fsg* (*fig.* 118), alla faccia *dluk* (*fig.* 120) corrisponde il piano, il quale, partendo dal vertice *s* (*fig.* 118) dell'ottaedro, passa per l'asse perpendicolarmente ai lati *ef*, *hg*; e alla base *ahbc* (*fig.* 120) corrisponde il rettangolo *efgh*, che suddivide l'ot-

(*a*) Nell'articolo della Cristallografia relativo all'ottaedro, abbiamo mostrato il doppio aspetto nel quale può considerarsi la struttura dei cristalli di topazzo; per la qual cosa possiamo adottare a piacere, come forma primitiva, tanto l'ottaedro rettangolare (*fig.* 118) quanto il prisma romboidale (*fig.* 119), lasciando sussistere l'unità delle molecole.

taedro in due piramidi. Nei topazzi senza colore del Brasile, detti *topazzi bianchi*, più che in qualunque altra varietà, la levigatezza naturale della commettitura che coincide con questo rettangolo è così chiara ed eguale, che sembra una levigatezza formata con arte *(a)*.

1372. Ancora in direzioni diverse da quelle che abbiamo indicate può ottenersi la faccia refrattiva, l'effetto della quale si combina con quello del limite: purchè, ed è questa una condizione essenziale, questo limite sia sempre una delle due facce che hanno servito nell'osservazione della refrazione Possiamo parimente produrre a piacere in un cristallo alcune facce artificiali, inclinate a qualunque grado su quella che corrisponde al limite, e che ha una situazione costante; ed otterremo effetti analoghi a quelli che sarebbero prodotti dalle facce naturali, alle quali sostituiamo le facce suddette: ma abbiamo creduto bene di ridurre le situazioni delle facce refrangenti a certi modelli scelti fra i resultamenti della cristallizzazione, perchè l'andamento dell'osservazione ne è più semplice e più conforme al meccanismo della struttura.

1373. Nel metodo che abbiamo esposto, abbiamo fatto dipendere la determinazione dell'asse di doppia refrazione dalla condizione che l'occhio veda le immagini degli oggetti sensibilmente semplici, a traverso di due facce inclinate fra loro, una delle quali sia perpendicolare o parallela all'asse del cristallo che è il soggetto dell'osservazione. La linea che cade perpendicolarmente su questa ultima faccia, è l'*asse di doppia refrazione*; e si chiama *sezione principale* il piano che passa per questo asse perpendicolarmente alla stessa faccia. Abbiam detto inoltre che le immagini restavano sensibilmente semplici, qualunque fosse la direzione del raggio visuale, se pure il cristallo non appartenga alla calce carbonata.

(*a*) Ci siamo limitati al caso più comune, che è quello in cui la forma primitiva indicata dalla teoria, è o può ridursi a quella di un prisma retto a basi rombe. In tal caso la faccia refrangente parallela all'asse, è situata nella direzione di una delle diagonali della base, ossia coincide con una faccia prodotta in virtù di un decrescimento da una fila sopra uno dei canti longitudinali. Ma in certe specie, e fra l'altre nell'epidoto, la forma primitiva è un prisma, che ha per basi parallelogrammi obliquangoli a lati diseguali, e che non ha un aspetto simmetrico tale da indicare per se stesso la situazione di questa faccia refrangente; e allora potrebbe forse accadere che questa faccia resultasse da un decrescimento per due o tre file sopra uno dei canti longitudinali del prisma. Noi pensiamo a fare qualche ricerca particolare, relativamente a questa ipotesi, alla quale non si oppone la teoria, e che forse potrebbe condurci a determinare la situazione proposta. Solo potrebbe accadere che questa determinazione richiedesse una o due osservazioni di più che nel caso in cui il prisma è romboidale.

1374. Il metodo di cui si servono i fisici per determinare l'asse di doppia refrazione, differisce dal nostro, 1° perchè in vece della faccia inclinata a quella che è parallela o perpendicolare all'asse del cristallo, ne suppongono un'altra situata parallelamente a questo diametro, 2.° perchè un raggio diretto verso queste due facce non resta semplice, entrando per quella che si presenta ad esso, se non in quanto che esso le è perpendicolare. Parrebbe dunque che l' occhio non potesse vedere le immagini semplici a traverso delle due facce refrattive, nel supposto caso di parallelismo, se non quando il raggio fosse perpendicolare ad esse. Molto più dunque sarebbe necessario, che nel caso d' inclinazione questo raggio avesse la stessa direzione, relativamente a quella che fosse parallela o perpendicolare all' asse del cristallo: ma abbiamo veduto che nel nostro metodo non è questa una condizione indispensabile, se non relativamente a un cristallo di calce carbonata.

1375. Tutti questi metodi potrebbero conciliarsi, sol che si ammettesse che nel caso in cui le immagini compariscono semplici, il raggio refratto che le produce si suddivida realmente, penetrando nel cristallo, ma però così poco che non apparisca all' occhio del più attento osservatore; nondimeno noi avremo ottenuto il nostro intento, facendo dipendere la determinazione dell' asse di doppia refrazione da una distinzione, che si presenta quasi naturalmente fra due refrazioni, una delle quali è semplice a giudizio dell' occhio, e l' altra è evidentemente doppia.

1376. Non dobbiamo tralasciare un'altra osservazione relativa a questo argomento. Abbiamo detto che per un certo tempo la calce carbonata e il solfo erano le sole sostanze, che presentassero due immagini dello stesso oggetto, veduto a traverso di due delle loro facce parallele (*a*). Ma la stessa proprietà è stata trovata in varie altre sostanze, ed è stata introdotta come elemento nella determinazione dell' asse di doppia refrazione, relativamente ad alcune di esse, e fra le altre relativamente alla barite solfata. La prima osservazione che dava luogo a questo nuovo modo di vedere, era che un raggio incidente il quale cadeva sopra una delle basi M, restava semplice penetrando nel prisma, quando era perpendicolare alla medesima base, e si suddivideva quando era inclinato ad essa. Bernardi, in una memoria pubblicata su questo argomento, ammette in tutti i corpi che raddoppiano le immagini, un asse di refrazione a cui si riferiscono i fenomeni: dice che in generale può vedersi la doppia refrazione a traverso di due facce parallele fra loro, e che ella è semplice nel caso soltanto in cui queste facce sono nel tempo

(*a*) *Traité élémentaire de Phys.*, *deuxième edit.*, t. II, n.° 1170.

stesso parallele all' asse, e in quello in cui sono ad esso perpendicolari (*a*). Fra le tante condizioni opportune per assicurare l'esito delle esperienze, ve n'è una che questo autore riguarda come necessaria relativamente ad alcune sostanze, e in modo speciale relativamente ai cristalli di quarzo, cioè che sieno della grossezza di qualche pollice; ma cita un' osservazione fatta con questi medesimi cristalli, e che non si accorda con questo suo principio. Dice che la doppia refrazione a traverso di due facce parallele ed opposte sulle due piramidi, come *cbd* e *msn* (*fig.* 111), è un poco maggiore che quando si guardano gli oggetti a traverso di una faccia d' una piramide, come *cbd*, e del piano opposto *hgry*. Noi abbiamo ripetute queste due osservazioni, servendoci d'un cristallo trasparentissimo, e d' una forma ben distinta: nella prima osservazione abbiamo veduto tali immagini, che era impossibile non giudicarle semplici, mentre nella seconda le abbiamo vedute doppie e sensibilmente lontane fra loro. Per verità il cristallo era grosso soltanto 13 millimetri, ossia 6 linee, e le due facce che avevano servito alla prima osservazione, erano distanti fra loro 2 centimetri soltanto, ossia 9 linee. Ma se supponiamo col pensiero, che questo cristallo cresca notabilmente ad un tratto, crescerà pure in proporzione lo slontanamento delle immagini, nella seconda osservazione; e sarà impossibile che la doppia refrazione, la quale prima dell' aumento era nulla nella prima osservazione, possa mai giungere al grado a cui sarà arrivata nella seconda, e però molto meno potrà superarla: infatti un tal andamento metterebbe in contraddizione con se stesse le leggi della luce.

1377. Aggiungeremo che fra le tante esperienze che abbiamo fatte con cristalli di diverse sostanze, alle quali non mancava nulla di ciò che poteva condurre a decisivi resultamenti, le immagini vedute a traverso di due facce parallele, a qualunque inclinazione del raggio visuale, non hanno mai presentato il minimo indizio di una doppia refrazione capace di esser ravvisata dall' occhio. Se dunque noi ragioniamo nella supposizione che il suo effetto sia stato tanto tenue da esserci insensibile, bisognerà concluderne che v'è come un salto fra questa proprietà, considerata successivamente nello spato d' Islanda, in cui agisce con tanta energia, e in tanti altri minerali in cui essa è tanto occulta che si richiede molta indagine per ravvisarvela; il che è contrario a ciò che si osserva in altri fenomeni, in cui le proprietà fisiche vanno da una sostanza ad un'altra con una gradazione di variazioni. È forse più probabile che la calce carbonata, in conseguenza della natura e della forma delle sue molecole, occupi un ordine a parte nella serie dei corpi dotati di doppia refrazione.

(*a*) *Journal de Gehlen*, t. IV, p. 230 e seg.

Del resto noi proponiamo queste riflessioni con la maggior riserva possibile, e diamo ad esse tanto minore importanza, quanto che sono estranee al nostro oggetto principale, che è stato di indicare alcuni mezzi egualmente semplici e facili, per determinare in tutti i casi la situazione dell' asse di doppia refrazione.

1378. Abbiamo veduto che per ogni cristallo dotato di doppia refrazione v' era un limite in cui essa era semplice, e dipendeva dalla situazione respettiva delle facce refrangenti, tanto fra loro quanto relativamente all' asse. Ma esistono alcune forme primitive, nelle quali l'effetto della doppia refrazione è nullo, comunque sieno situate l' una relativamente all' altra le facce a traverso delle quali si guardano gli oggetti, e in qualunque direzione del raggio visuale. Queste forme son quelle, che in conseguenza del carattere di simmetria e di regolarità con cui le ha distinte la cristallizzazione, possono riguardarsi esse pure come i limiti dell' altre del medesimo genere, e sono in numero di tre, cioè il cubo, l' ottaedro regolare, e il dodecaedro, la superficie del quale è composta di 12 rombi eguali e simili, tutti inclinati fra loro 120°. A queste tre forme deve unirsi quella del tetraedro regolare, a cagione del suo aspetto simmetrico; ma però noi non conosciamo verun minerale trasparente di questa figura. Fra le sostanze alle quali appartengono l' altre, e che sono adattate, almeno in certi casi, a questo genere di osservazioni, citeremo per il cubo il borato di magnesia e il muriato di soda ossia *sal gemma*; per l' ottaedro regolare il diamante e il fluato di calce; e per il dodecaedro a piani rombi il granato.

1379. Ciascuna di queste forme è comune a minerali di varie specie (*a*), e probabilmente la proprietà di presentare immagini semplici, è generale per tutti; ma però non è provato che essa non possa esistere ancora in qualcuna delle forme che non sono limiti. Abbiamo già fatte alcune osservazioni, le quali sembra che non lascino alcun dubbio su questo proposito; ma prima di pubblicarle, vogliamo aggiungere ad esse un nuovo grado di precisione, ed estenderle ad altre sostanze nelle quali abbiamo già osservato qualche indizio della stessa proprietà.

(*a*) Nel Trattato di Cristallografia, e precisamente nell' articolo intitolato *delle forme comuni a diverse specie*, abbiamo data la soluzione della difficoltà, che sembra nascere dall' adottare una medesima forma in sostanze di diversa natura, relativamente alla distinzione delle specie minerali.

1380. Gli effetti della doppia refrazione, che abbiamo osservati in molti corpi citati nell'articolo precedente, possono farci conoscere fin d'ora quanto è estesa questa proprietà andando da una specie all'altra. Citeremo ora alcuni altri esempii, che uniti ai primi serviranno a darci un'idea della gradazione che si osserva di questa proprietà nella totalità dei corpi naturali. La sostanza in cui questa esiste al massimo grado è la zirconia, volgarmente detta *diamante giallo del Ceylan.* Staccato da uno dei suoi cristalli il prisma a base quadrata che ne faceva parte, abbiamo fatto nascere una faccetta artificiale in vece di uno dei canti sul contorno della sua base superiore. Le immagini delle inferriate da finestra, vedute a traverso di questa faccetta e della base situata dalla parte opposta, son comparse raddoppiate sensibilmente alla distanza di 2 metri ossia 6 piedi; e l'angolo refrangente era di soli 21°.

1381. La pietra preziosa detta *smeraldo bastardo*, ossia crisolito d'Alemagna, è, dopo la zirconia, una di quelle sulle quali la stessa proprietà agisce con più energia. La sua forma primitiva è un prisma a base rettangolare, che nel cristallo di cui ci siamo serviti nelle nostre osservazioni, era terminato da una piramide retta quadrangolare. Una delle due facce refrangenti era una faccia di piramide che nasceva sopra uno dei gran lati della base, e l'altra era la base opposta. Lo slontanamento delle immagini delle stesse inferriate è stato quasi lo stesso che nelle esperienze fatte con la zirconia, ma noi eravamo a 3 metri di distanza, e l'angolo refrangente era di 38° 20'.

1382. Segue quindi la varietà di pirossene detto *diopside*, che ha per forma primitiva un prisma romboidale obliquo, rappresentato dalla *fig.* 121, nel quale l'inclinazione scambievole delle basi M, M è di 87° 42', e quella della base P sul canto adiacente H è di 106° 6'. Abbiamo guardato le stesse inferriate a traverso di una faccetta triangolare artificiale *ofl* (*fig.* 122), che intercettava l'angolo solido *b* al contorno della base, e a traverso di una faccia naturale *stux*, che stava in vece del canto *df*, situata dalla parte opposta, parallelamente ad un'altra prodotta dalla cristallizzazione in luogo del canto anteriore H, secondo che lo richiedeva la simmetria; e le immagini hanno presentato quasi lo stesso aspetto ad un'egual distanza, e l'angolo refrangente era quasi di 36°.

1383. Seguendo la gradazione, si giunge al topazzo e al quarzo, che già abbiamo citati, e la refrazione dei quali è molto minore di quella delle sostanze precedenti. Abbiam parlato altresì di quella dello sme-

raldo, che è forse la più debole di tutte, e a cui si avvicina quella del safiro orientale. La forma primitiva di questo è un romboide un poco acuto, nel quale l'inclinazione di due facce situate verso un medesimo vertice è di 86° 38′. In questo caso fummo obbligati a prendere uno spillo per oggetto della visione. Le due facce refrattive avevano le stesse situazioni respettive delle facce P e *hgry* (*fig* 111) del cristallo di quarzo, di cui ci eravamo serviti in una delle osservazioni precedentemente citate: ma bisognava allontanare lo spillo tutta la lunghezza del braccio per scorgere la distinzione delle immagini.

1384 La luce nel passare a traverso delle porzioni di cristallo comprese fra le due facce refrangenti, si decompone come nell'esperienza del prisma, in raggi di diversi colori, cha danno alle immagini un aspetto d' iride. Quando la doppia refrazione è fortissima, come nella zirconia, si può prendere per oggetto di visione la fiamma d'un lume; e la luce che ne emana avviva i colori che la distanza fra le immagini fa meglio spiccare, e l'esperienza divien tale da esser veduta con piacere anco da quelli per i quali sono estranee le cognizioni di fisica.

DELLA DIFFRAZIONE DELLA LUCE.

Il Grimaldi è stato il primo ad osservare, che i raggi luminosi i quali passano vicini alle estremità dei corpi, van soggetti a certe inflessioni, per cui si allontanano dal lor diretto cammino; ed ha osservato ancora le diverse circostanze relative a questo fenomeno, le quali indicheremo, ripetendo le principali esperienze per mezzo delle quali possiamo produrlo.

1385. Se per un piccolissimo foro si introduca in una camera oscura un fascio di luce, ed esponendo ad esso un filo di ferro o qualunque altro corpo di forma sottile, se ne riceva l'ombra sopra un cartone bianco o sopra un vetro alquanto appannato, dietro al quale si ponga l'occhio, si osserva che l'ombra di questo corpo è molto più larga di quello che avrebbe dovuto essere, se i raggi fossero andati rasenti alle sue estremità. Si osserva inoltre che l'ombra ha nel contorno esteriore una specie di frangia di varie gradazioni di colori e di varie larghezze; e nell'interno si veggono certe frange, parte brillanti, parte oscure, che la dividono in intervalli eguali, e le prime di queste frange son colorate come quelle che appariscono all' esterno.

Questo fenomeno che Newton chiamava *inflessione della luce*, e che in seguito è stato chiamato *diffrazione della luce*, fu per lungo tempo attribuito ad una forza repulsiva che il corpo sottile esercitava

sulla luce, e in virtù della quale i raggi si inflettevano più o meno, secondo che passavano più o meno vicini al detto corpo.

Newton ha fatto un gran numero d'esperienze su questo argomento, le quali però oltre gli altri difetti hanno quello di dar sempre resultamenti incompleti, perchè egli non aveva osservate le frange colorate che occupano l'interno dell'ombre. Ma esponendo questi fatti nelle sue questioni di ottica, sembra che egli stesso abbia dubitato dell'evidenza delle conseguenze che deduceva dai suoi resultamenti, come apparisce là dove domanda se possa accadere che i corpi agiscano sulla luce, ad un certa distanza, in modo da infletterne i raggi con una forza tanto maggiore, quanto è minore questa distanza.

1386. Questa causa della diffrazione che Newton presumeva esser la vera, era stata generalmente adottata dai fisici, quando l'Accademia reale delle Scienze avendo proposto per soggetto del premio in Fisica che dà ogni anno, la spiegazione di questo stesso fenomeno, coronò la memoria in cui Fresnel, ingegnere dei ponti e argini, distinto egualmente per le sue cognizioni in fisica e in geometria, aveva dedotta questa spiegazione dal sistema delle ondulazioni.

1387. Il dotto autore di questa memoria, oppone primieramente all'opinione fondata sull'ipotesi dell'emissione, un resultamento delle sue proprie osservazioni, che tende a renderla inammissibile. E in prova di ciò, affinchè i fatti fossero d'accordo con essa, bisognerebbe che la natura del corpo presso il quale passa la luce, e la figura dei suoi orli, avessero un'influenza assoluta sulla dilatazione del fascio composto di questa luce medesima; ma con molte esperienze e con misure precise resta provato al contrario che questa influenza è nulla; e per limitarci a un sol fatto che è semplicissimo, osserviamo che gl'intervalli o strisce diffratte hanno precisamente lo stesso splendore e la stessa disposizione, o sieno prodotte sulla costola o sul taglio d'un rasoio.

1388 Ora, per formarci un'idea del modo con cui Fresnel spiega la diffrazione, ricordiamoci che in un'onda di cui tutte le molecole sieno mosse soltanto dalle loro proprie forze o da quelle dell'onde vicine, le pressioni laterali si distruggono scambievolmente, sicchè non v'è alcun moto se non nella direzione perpendicolare alla superficie. Ma se una porzione di qualche onda si trovi intercettata o trattenuta nel suo corso, dall'interposizione di un corpo estraneo, si comprende facilmente che essendo rotto l'equilibrio fra le pressioni trasversali, deve resultarne nei diversi punti dell'onda una disposizione a tramandar raggi in nuove direzioni.

1389. Da questo disordine sofferto dal sistema delle azioni primitive derivano, come vedremo fra poco, le frange parte colorate e parte oscu-

re, che si formano all'esterno del corpo interposto, o che simili alle prime nascono nell' interno della sua ombra. La produzione di queste, fa riunire due onde partite dai due lati del corpo interposto, e i raggi delle quali incrociandosi esercitano la loro influenza gli uni sugli altri. In ciò appunto consiste il principio delle interferenze scoperto da Tommaso Young (*a*), il quale ne ha confermata l'esistenza con un'esperienza singolare, nella quale egli arrestava, per mezzo d'un corpo opaco, la porzione di luce che rasentava o che era sul punto di rasentare un solo dei due orli del corpo interposto, e subito sparivano tutte le strisce luminose formate nell'ombra interna, quantunque i raggi che passavano vicino all' orlo opposto proseguissero il loro cammino.

1390. Fresnel, dopo aver determinato con formule combinate da lui con moltissimo ingegno, la celerità delle vibrazioni prodotte nelle molecole di un numero qualunque di onde luminose di egual lunghezza, e che si propagano in una stessa direzione, combina le stesse formule col principio di Huygens, e con quello delle interferenze, per sottoporre al calcolo le varie circostanze del fenomeno della diffrazione.

1391. Fra i varii resultamenti che egli ha ottenuti, citeremo quello che gli ha servito per spiegare la differenza fra le frange luminose e le frange oscure, citate di sopra, in conseguenza dei rapporti fra le vibrazioni dei raggi luminosi, che concorrono in uno stesso punto. Questo rapporto ora è tale che le azioni dei raggi si distruggono fra loro, e questi raggi trovandosi allora in *discordanza*, secondo l'espressione dell'autore, la luce si estingue nei punti in cui concorrono, dal che nascono le frange oscure; ora è tale che non impedisce che sussista nondimeno l'effetto delle vibrazioni, e l'accordo che ne resulta produce le frange luminose e colorate. L'autore prova che le porzioni di curve prodotte dalle inflessioni di queste ultime frange sono archi d'iperbola.

1392. Il sistema delle ondulazioni, che serve a spiegare un fenomeno che non potrebbe spiegarsi con la teoria fondata sul sistema dell'emissione, serve ancora a spiegare i fenomeni della reflessione e della refrazione, come lo dimostra Fresnel, associando ai suoi resultamenti i principii di Young e di Huygens. Così non considerando altro che i fatti contenuti nelle memorie del fisico citato, prevarrebbe forse l'opinione d'Huygens a quella di Newton; ma per giudicare con maggior sicurezza a qual delle due debba darsi la preferenza, bisogna paragonare i loro sistemi sotto tutti quei rapporti, che possono presentare motivi di preferenza per l'una o per l'altra. Cerchiamo di far questo esame con tutta quella imparzialità che richiede una discussione di tanta importanza.

(*a*) *Transact. Phylosophic.* 1813.

1393. E primieramente osserveremo che il sistema delle ondulazioni presenta pure alcune difficoltà tanto maggiori, quanto che son tali per l'autore stesso di questo sistema, il quale le ha annunziate con quella ingenuità che è propria dell'uomo di genio. Fra i varii fenomeni che si osservano nei romboidi di spato d'Islanda, uno dei più notabili, e che già abbiamo indicato, è quello che si osserva nell'esperienza, in cui soprapposti due di questi romboidi, i due raggi che passano a traverso di essi, e che restavano semplici quando le sezioni principali erano parallele o perpendicolari fra loro, si suddividono ciascuno in due nuovi raggi, in tutti i casi in cui le due sezioni sono inclinate una sull'altra. Huygens non comprende in qual modo queste due onde di luce, nel passare a traverso di un romboide, acquistino una forma e una disposizione, in virtù delle quali ciascuna di esse possa mettere in moto nel secondo romboide due porzioni diverse di materie capaci di dare due refrazioni, quando questo romboide è voltato in un certo modo, e non metterne in moto che una sola, quando è voltato in un'altro; ma però confessa che non ha trovato nessun modo soddisfacente di spiegare ciò che accade in questa esperienza (*a*).

1394. Il celebre Fisico Malus, che tanto profondamente ha studiato le varie azioni della luce, rende anco maggiore la difficoltà, osservando che sono ancor più contrarie all'ipotesi delle ondulazioni le sue esperienze, nelle quali un raggio di luce, reflesso successivamente da due specchi ad un angolo stesso d'incidenza, resta semplice o si suddivide, secondo le situazioni respettive in cui si pongono questi specchi; il che « non può aver luogo, soggiunge Malus, nel sistema delle ondulazioni » dal che conclude, che non solamente la luce è una sostanza soggetta alle forze che agiscono sugli altri corpi, ma di più che la forma e la disposizione delle sue molecole hanno una grande influenza sui fenomeni (*b*).

1395. Dopo tutto questo, la difficoltà che potrebbe nascere da un piccol numero di fatti, che la scienza potrà forse un giorno far rientrare nel sistema dell'emissione, non potrà mai bastare a farci rinunziare a questo sistema, autenticato dall'altra parte dalla spiegazione che esso dà facile e semplice di tanti altri fenomeni. E in favore di questa opinione possiamo aggiungere, che la presente discussione non si aggira che sulla causa fisica di questi fenomeni, e che tutto poi accade come se il sistema dell'emissione fosse il vero; dimanierachè, come osserva

(*a*) *Quo autem pacto id fiat, nihil reperire potui quod mihi satisfaciat.* Crist. Hugen., *Opera reliqua.* Amstelod. 1728, p. 68 e 69.

(*b*) *Théorie de la double réfraction*, p. 238 e 239.

Eulero, tanto nell'uno che nell'altro sistema, i raggi ci vengon rappresentati da linee rette, finchè restano nello stesso mezzo trasparente, e non si inflettono per soffrire una refrazione, se non quando passano da un mezzo in un altro (*a*).

1396. Così la linea retta che caratterizza l'emissione, è nel tempo stesso l'elemento di tutte le nostre costruzioni geometriche, e di tutti i nostri calcoli relativi all'Ottica e alla Diottrica; e sembra che la Fisica non abbia fatto altro che prendere la forma della Geometria, per accordarsi con essa. Da ciò resulta, che occupandoci noi in questo argomento, ci siamo tal mente avvezzati a vedere col pensiero ciò che i nostri occhi stessi sembrano dirci all'aspetto dei corpi luminosi, cioè che essi ci tramandano direttamente raggi emanati dalla loro sostanza, che sarebbero necessarie prove tanto numerose quanto evidenti, per obbligarci a sostituire nelle nostre idee ai loro moti rettilinei le onde d'una materia sottile scossa dalle agitazioni dei medesimi corpi.

DELLA LUCE POLARIZZATA.

Polarizzazione nella quale la luce conserva la sua bianchezza, e nozioni di questa proprietà.

1397. Riflettendo sulle circostanze dei fenomeni prodotti dalla doppia refrazione, precedentemente descritti, si osserva una differenza notabile fra la luce che è già passata a traverso d'un corpo dotato di questa proprietà, e quella che dopo aver percorso lo spazio, arriva in direzione obliqua alla superficie di uno dei corpi stessi, in cui è refratta quella porzione dei suoi raggi che non fu reflessa. E questa, qualunque sia la sua direzione, si suddivide sempre in due fasci, uno dei quali soffre la refrazione ordinaria, e l'altro la refrazione straordinaria: l'altra porzione poi, seguendo il suo corso, resta semplice, quando è nel piano della sezione principale, o in un piano perpendicolare a questo, e si suddivide in tutti gli altri piani.

1398. Malus ha scoperta un'analogia molto considerevole fra la luce che ha sofferto una reflessione parziale sulla superficie di un corpo, e quella che esce da un corpo dotato di doppia refrazione, la qual analogia si riferisce ai due fatti seguenti. Il primo fatto è, che la luce così reflessa, quando la sua reflessione è accaduta a un certo grado di obliquità, e quando essa entra in seguito in un corpo a doppia refrazione, soffre in esso tali modificazioni, come se fosse già passata a traverso di

(*a*) *Lettres à une Princesse d'Allemagne*, t, I, p. 137.

un primo corpo dotato della stessa proprietà, e di cui la sezione principale coincidesse col piano, nella direzion del quale si era essa in principio riflessa. Per far meglio comprendere questa correlazione, supponiamo che *ab* (*fig.* 123) sia il profilo verticale di uno specchio non amalgamato, e che *nm* rappresenti un raggio di luce incidente che incontri questo specchio ad un angolo *nmb* di circa 35°; nel qual caso esso si rifletterà, facendo con lo specchio l'angolo di riflessione *oma* eguale al primo. Presentiamo ora al raggio *mo* un corpo dotato di doppia refrazione, di cui la sezione principale *glkh* sia sul prolungamento del piano *amo*, nella direzione del quale si è riflesso il raggio *mn*: in questo caso il raggio *mo* passerà nel corpo a doppia refrazione senza suddividersi, andando per una direzione *or*, che si riferirà alla refrazione ordinaria. Se al contrario la sezione principale di questo medesimo corpo fosse perpendicolare al piano *amo*, il raggio *mo* resterebbe egualmente semplice, penetrando in esso, se non che vi soffrirebbe la refrazione straordinaria. In tutte le situazioni respettive intermedie fra le due precedenti, il raggio *mo* si suddividerà in due raggi, che saranno soggetti alle due specie di refrazione (*a*). Questi raggi parziali ordinarii derivati da questa suddivisione, anderanno scemando in numero, mentre cresceranno gli straordinarii, finchè spariscano gli altri.

1399. Ora siamo in grado di spiegare cosa deve intendersi per *luce polarizzata*. Ragioneremo secondo l'ipotesi ammessa da Newton, cioè ammetteremo che le molecole della luce hanno certi poli, sui quali agiscono quelle dei corpi dotati della doppia refrazione, a traverso dei quali passano i raggi di questo fluido; e fra questi corpi sceglieremo come esempio il romboide di spato d'Islanda. Abbiamo veduto che niuno dei due fasci emanati dalla luce diretta, alla quale è stato presentato uno di questi romboidi, dopo essere uscito da quello non era più capace di suddividersi, passando a traverso di un altro romboide, che aveva la sezione principale parallela o perpendicolare a quella del primo. E questi fasci di raggi avevano tal proprietà, perchè le loro molecole, in virtù dell'azione che il primo romboide esercitava sopra di esse, voltavano tutti in un tempo dalla stessa parte i poli analoghi a quest'azione, dal che resultava in tutti i raggi di cui era composto il fascio, una tendenza generale e permanente a non soffrire che una sola refrazione, passando in un altro romboide, purchè la sezione principale di questo fosse in una di quelle situazioni da cui dipende l'azione delle sue molecole sui poli delle molecole luminose. Ma l'effetto dello specchio che riceve i raggi ad angolo

(*a*) Ci uniformiamo qui al linguaggio adottato, col quale spesso si indica con la parola *raggio* un fascio di luce, che è una riunione di raggi.

di 35° 25′ è, relativamente a questi raggi, lo stesso di quello prodotto dal primo romboide relativamente al fascio, che nel passare a traverso di esso ha sofferta la refrazione ordinaria. Tutti questi raggi hanno i loro poli omologhi voltati dalla stessa parte, e tutti son disposti nella stessa maniera; e da ciò segue che il fascio il quale è la riunione di essi resta semplice, penetrando nel romboide, di cui il quadrilatero *ghkl* rappresenta la sezione principale. Questa uniformità nella loro disposizione, dipendente dall'angolo sotto il quale sono stati reflessi dallo specchio, è il carattere distintivo dalla luce polarizzata.

In tutte le incidenze che precedono quella di cui parliamo, v'è sempre un certo numero di raggi già polarizzati, mescolati ai non ancor polarizzati, e che va crescendo a misura che l'incidenza si avvicina al limite a cui corrisponde la polarizzazione completa del fascio. Questo pure presenta gli stessi effetti dell'altro fascio, il quale dopo esser passato da un romboide di spato d'Islanda in un altro, giunge gradatamente dallo stato di refrazione ordinaria allo stato di refrazione straordinaria, o reciprocamente, a misura che nel moto dei due romboidi, le due sezioni principali divengono quasi perpendicolari fra loro.

1400. Da quanto abbiamo detto fin qui si rileva, che la proprietà che ha un raggio polarizzato, di trovarsi in contrasto o di evitare totalmente le forze refrangenti del cristallo, dipende unicamente dal modo con cui le molecole luminose voltano i loro poli relativamente ai centri d'azione di queste forze, dimanierachè lo stesso raggio deve procedere in una maniera diversa, relativamente a un corpo cristallizzato che incontri ad un'incidenza costante, secondo che esso si presenta alla sua superficie per un verso o per l'altro. Importa dunque moltissimo il conoscere il modo con cui esso è stato polarizzato, per poter determinare anticipatamente il suo modo d'azione sopra una sostanza diafana, di cui si conosca la situazione. Ma quando un raggio è stato reflesso da una lastra di vetro ad angolo di 35° in circa, poichè allora le forze reflettenti hanno fatto sì che le sue molecole voltino nel piano stesso di reflessione i poli analoghi alla loro azione, si dice in tal caso che il raggio è stato polarizzato per lo stesso verso che questo piano, il quale per questa ragione appunto si chiama piano di polarizzazione.

1401. Malus ha osservato, che ogni volta che produceva in qualunque modo un raggio polarizzato in qualunque verso, otteneva necessariamente un altro raggio polarizzato in una direzione perpendicolare al primo (*a*). Così quando un raggio di luce passa a traverso di un romboide di spato d'Islanda, dividendosi, il raggio ordinario è polarizzato

(*a*) Si vedano le Memorie dell'Istituto, an. 1810, 2ª parte.

per il verso della sezione principale, e il raggio straordinario è polarizzato in un piano perpendicolare a questa sezione. Quando un raggio luminoso cade sopra una lastra di vetro ad un angolo di 35° 25′, tutta la luce reflessa è polarizzata nel piano di reflessione, e quella che passa a traverso dello specchio, è polarizzata in gran parte in un piano perpendicolare al primo.

Determinazione approssimata del massimo grado di polarizzazione relativamente ad una data sostanza.

1402. L'angolo al quale è completa la polarizzazione è vario al variare delle sostanze, e in generale scema a misura che cresce la forza di refrazione. Brewster ha scoperto in questa dipendenza scambievole della luce reflessa e completamente polarizzata con la luce refratta, una tendenza generale verso un limite, da cui essa non si allontana che pochissimo, cioè che il raggio refratto è quasi perpendicolare al raggio reflesso. Da ciò resulta, che il rapporto fra il coseno e il seno dell'angolo d'incidenza del raggio polarizzato sulla superficie reflettente, è eguale al rapporto fra il seno dell'angolo che fa questo medesimo raggio con la verticale e il seno di refrazione; e quindi conoscendo questo ultimo rapporto che è costante, se ne deduce la misura dell'angolo che corrisponde alla polarizzazione (*a*).

(*a*) Sia *xz* (*fig.* 125) la superficie reflettente, *bcn* l'angolo d'incidenza della luce polarizzata, e *fer* l'angolo di reflessione. Dal punto *c* preso per centro, e con un intervallo qualunque *cb* preso per raggio, descriviamo una circonferenza di circolo *hbd*. La perpendicolare *bn* condotta sulla superficie *xz*, sarà il seno dell'angolo d'incidenza, e la linea *cn* ne sarà il coseno. Inoltre, se conduciamo la verticale *ch*, il seno *ba* dell'angolo *bch* relativo a questa verticale, sarà eguale al coseno *cn* suddetto. Se *cd* è il raggio refratto, e *dg* il seno di refrazione, l'angolo *rcd* è retto o quasi retto, secondo l'osservazione di Brewster: dunque l'angolo *dcf* o il suo eguale *cdg* è il complemento dell'angolo *fcr*, ossia dell'angolo *bcn*: dunque l'angolo *dcg* che è il complemento di *cdg* è eguale all'angolo *bcn*. Da ciò resulta che il seno di refrazione *dg* è eguale al seno d'incidenza *bn*; e dall'altra parte il seno *ab* dell'incidenza relativa alla refrazione, è eguale al coseno *cn* dato dalla reflessione, dal che si deduce il rapporto proposto. Così quando la superficie *xz* è quella dell'acqua, il rapporto fra *ba* e *dg* è di 4 : 3; dal che segue che *cn* sta a *bn* nello stesso rapporto. Per mezzo del calcolo si conclude che l'angolo $bcn = 36°\ 52'$; e Malus che con l'osservazione ha determinato questo angolo, l'ha trovato di 37° 15′, cioè 23′ maggiore del precedente.

Nuova esperienza in cui la luce resta bianca nel polarizzarsi.

1403. Torniamo ora al secondo fatto scoperto da Malus, e per concepirne un'idea, sostituiamo al corpo dotato della doppia refrazione che ha servito nell'esperienza precedente, un altro specchio che rifletta ad un egual angolo d'incidenza i raggi respinti dal primo. In tal caso il piano di reflessione relativo a questa incidenza, si rassomiglia, per quanto lo permette la natura del corpo che riceve la luce, alla sezione principale di quello in vece del quale è stato posto.

Sia sempre *ab* (*fig.* 124) il profilo orizzontale del primo specchio: sia *yz* quello del secondo, che supporremo primieramente parallelo all'altro: e se inoltre *mt* sia il raggio reflesso da questo, esso si rifletterà nuovamente sullo specchio *yz*, in una direzione *tx*, situata nel piano *mty*, e che farà con *yz* un angolo di 35°, dimanierachè non vi sarà alcuna differenza fra l'effetto di questa reflessione e quello della prima. Figuriamoci ora che lo specchio *yz* giri intorno al raggio *mt*, in modo che questo conservi relativamente ad esso la medesima inclinazione. Quando la situazione del piano di reflessione *mty* sarà divenuta perpendicolare a quella in cui era nel primo istante, ossia a quella del piano *bnm*, sarà sparita tutta la luce che lo specchio rifletteva; e a misura che, partendo dalla sua prima situazione, essa percorre tutti gl'intermedii compresi fra questa situazione e la seconda, scema la quantità dei raggi parziali contenuta nel raggio reflesso *tz*, e in fine sparisce totalmante.

1404. Non sarà inutile paragonare l'andamento di questo ultimo fenomeno con quello del precedente, per rilevarne i rapporti e le differenze. Nel primo caso, a misura che la sezione principale *hklg* (*fig.* 123) inclina verso il piano di refrazione *amo*, il fascio *or* cede alla refrazione straordinaria una porzione dei suoi raggi, che va sempre crescendo, finchè il fascio intero si trovi soggetto alla stessa refrazione, dimanierachè non cambia altro se non l'aspetto nel quale comparisce il fenomeno. Nel secondo caso la quantità di raggi che conserva la luce reflessa, soffre le stesse variazioni, a misura che i due piani di reflessione inclinano uno sull'altro; ma la parte che se ne stacca sparisce nel penetrare nello specchio, in cui soffre la refrazione ordinaria, sicchè in fine il fenomeno è come se non fosse esistito per l'occhio.

Nei due fatti precedenti abbiamo considerato soltanto ciò che accade nel tempo della rotazione della sezione *hklg* (*fig.* 123), o del piano di reflessione *ytx* (*fig.* 124), dall'origine del moto fino a un termine che è lontano da essa 90°; ma torneremo fra poco sul medesimo argomento,

ed esporremo minutamente la maniera con cui i medesimi effetti si ripetono successivamente in modo contrario, o con lo stesso ordine, nelle altre parti della circonfereoza.

Descrizione ed uso d' un apparecchio semplice e facile a maneggiarsi, destinato per le esperienze sulla luce polarizzata.

1405. I fatti descritti e quelli che siamo per descrivere son tanto singolari, che difficilmente se ne concepisce l'idea senza averli veduti; ma dall'altra parte essi sono di tal natura da non poter essere considerati che solitariamente. Ed era questo un motivo ancora più forte di seguire qui pure il nostro solito uso, indicando cioè a quelli che studiano la fisica della luce, un apparecchio semplice e poco dispendioso, per mezzo del quale possano facilmente ripetere da per se le esperienze relative a questa classe di fenomeni. Quello di cui ci serviamo noi è opera di Fauquet, celebre scienziato egualmente che ingegnosissimo artista, il quale impiega questo suo doppio talento in favore delle scienze che coltiva, e degli studiosi, all'occhio dei quali rende sensibile l'andamento dei fenomeni, ed aiuta lo spirito di loro a meglio intenderne la teoria.

1406. In questo apparecchio si distingue una parte fissa che è comune a tutte le esperienze, e si distinguono pure varii pezzi d'un uso limitato, e che uon si adattano al posto se non quando lo richiede il bisogno. La parte fissa rappresentata dalla *fig.* 126, ha per base una tavoletta di legoo di figura rettangolare, di cui il lato maggiore è 23*centim.* ossia 8 ½*pol.* e il lato minore è di 8*centim.*,5 ossia 3 pollici. Questa tavoletta è corredata, verso una delle sue estremità, d'uno specchio GINL non amalgamato, e annerito nella sua superficie superiore. Al di là di questo specchio si alza, ad egual distanza dai lati maggiori della tavoletta, una tavola di legno PZYX tagliata in forma di trapezio, che serve di sostegno a un cilindro voto OF di cartone o di latta, lungo circa 15*centim.*, ossia 5*pol.* ½, e di 4*cent.*, 5 ossia 1*pol.* 8*l.* di diametro. L'angolo che formano fra loro i lati maggiori PZ, XY del trapezio, è di 35° 25', e quindi l'asse del cilindro fa lo stesso angolo col piano della tavoletta. La parte inferiore di questo cilindro è occupata da un'estremità del tubo di cartone, luogo circa 3 centimetri, e che penetra in quello non più che per tre o quattro millimetri, e però sulla sua circonferenza è fissata una specie di collare, formato di cartone tagliato in forma di ottagono regolare, con un foro circolare nel mezzo (*fig.* 127), per il quale passa l'estremità del suddetto tubo. Tutto questo apparecchio è disposto io modo che si può imprimere alla lastra ot-

tagona e all'estremità del tubo inseritovi un moto comune di rotazione intorno all'asse del cilindro. Fra poco indicheremo l'uso di questo tubo.

1407. Fra i pezzi mobili indicati, descriveremo primieramente quello rappresentato dalla *fig.* 128. La sua parte principale sono due prismi ottagoni regolari uniti insieme formati e di cartone, e ambedue terminati con una base da una parte, e aperti dall'altra; e sono disposti in modo che uno serve d'astuccio all'altro, e però possono comodamente separarsi, per porre nell'interno di essi un romboide di spato d'Islanda come diremo. Ciascuna base ha una larga apertura circolare *o*, *r*: l'apertura *o* comunica con la cavità d'un tubo *gh*, che aderisce superiormente alla sua circonferenza, e nel quale si introduce dalla parte opposta la porzione superiore del cilindro OF (*fig.* 126), in modo che si può far muovere il tubo intorno all'asse di questo cilindro. L'altra apertura, che è destinata a trasmettere all'occhio i raggi che son passati a traverso del romboide, è circondata dall'orlo d'un tubo *mn*, destinato a intercettare qualunque luce, fuorchè quella che viene dall'interno.

In molte esperienze, invece di questa cassetta che abbiamo descritta, si usa una specie di gabbia (*fig.* 126 *bis*) che serve ad un uso totalmente diverso. Per farne meglio comprendere la costruzione, supponiamo sei lastre rettangolari di legno eguali e simili a due a due, e unite coi loro orli in forma d'un parallelepipedo rettangolo *hy* (*fig.* 129), in cui i lati B, C della base sieno fra loro quasi come 7 : 6 In quanto all'altezza G che è arbitraria, Fauquet ha preso il partito più semplice di farla eguale al lato B, e quindi la faccia *slhp* è un quadrato. Prendiamo ora sopra ciascuno dei lati *sy*, *pu* una porzione *ns* o *pm* che sia $\frac{1}{6}$ di essa; quindi condotte le linee *gn*, *om*, tagliamo il parallelepipedo con un piano *gnmo* che coincida con esse: in tal caso il solido sarà simile a quello rappresentato separatamente dalla *fig.* 130, che facilmente può paragonarsi a quello dal quale deriva. Per ridurre questo solido adattato all'uso a cui è destinato, bisogna corredare internamente la faccia *gnmo* d'uno specchio non amalgamato, e annerito nella superficie superiore, e lasciare scoperta la faccia *lsph*. In conseguenza delle indicate dimensioni, l'angolo formato da questo specchio con la faccia *hlgo* è di 55°. Per compire l'esecuzione di questo pezzo, di cui questo solido non presenta che una parte, si fa nella faccia *gkh* (*fig.* 131) un'apertura circolare *x*, alla quale si adatta un tubo per un'estremità, la quale è circondata da un collare di figura ottagona, simile a quello di cui abbiam parlato di sopra. Quando si vuol far uso di un tal pezzo, si introduce la parte superiore del cilindro nella parte inferiore del tubo

e quindi può farsi girar questo a piacere o da una parte o dall'altra, in modo che nel muoversi porti con se l'ottagono *hg* e il solido *nh* al quale è unito.

Un terzo pezzo, che basta soltanto indicare, consiste in un prolungamento che si aggiunge al cilindro dell' apparecchio, per mezzo del quale l'asse di questo, che era solo di 15 centimetri o 5 ½ pollici incirca, cresce fino a circa 40 centim. o 15 pollici; ma un tal prolungamento non serve che in una sola esperienza che citeremo fra poco.

1408. A questi pezzi fin qui descritti, Fauquet ha aggiunto un certo numero di diaframmi, l'uso dei quali rende più facili e più spedite le esperienze Questi diaframmi sono tanti circoli di cartone, i quali, eccettuato uno solo di cui parleremo poi, hanno tutti lo stesso diametro, e possono essere introdotti nella cavità del cilindro, in modo da fare le veci di tramezzi trasversali Alcuni hanno nel centro un foro di circa 2 millimetri, ossia quasi d'una linea di diametro, l'immagine del quale è trasmessa all'occhio per mezzo della luce che esso lascia passare: e gli altri sono scavati fino a una piccola distanza dalla loro circonferenza, e ciò che resta serve di quadro a una lastra circolare di una sostanza diafana, l'azione della quale modifica la luce che passa a traverso di essa. Tutti questi diaframmi prendono il posto l'uno dell'altro in un punto vicino alla base inferiore del cilindro. Ma dicemmo che in questo punto v'era l'estremità del tubo incastrato per la parte superiore nella lastra ottagona rappresentata dalla *fig.* 127; e appunto in fondo a questo tubo si pongono i diaframmi, gli orli dei quali riposano sopra una fascia circolare di cartone attaccata allo stesso fondo. Situato così un diaframma, si conserva in una situazione fissa per mezzo d'un'altra estremità di tubo che si introduce nel primo, finchè il suo orlo inferiore agisca per via di pressione su questo diaframma

Questa descrizione sarebbe forse troppo minuta, se avessimo avuto il solo fine di far conoscere l'uso di un tale apparecchio, ma non ci sembra tale per l'altro fine che ci eravamo proposti, cioè di insegnare a dirigerne la costruzione.

1409 A fine di verificare con l'esperienza il primo tra i fatti scoperti da Malus, si ponga un romboide di spato d'Islanda nella cassetta ottagona (*fig.* 128), e vi si fissi in modo, che la diagonale obliqua della faccia opposta a quella che sarà a contatto col fondo della cassetta, sia parallela a una linea condotta per il centro dell'ottagono *es* (*fig.* 127), e per i punti di mezzo di due lati paralleli, come *ek*, *ys*, e si notino con un segno questi due punti. Si ponga quindi la cassetta sull'apparecchio, come abbiamo indicato, quindi si guarnisca la circonferenza inferiore del cilindro con un diaframma forato nel centro. Si faccia girare la cas-

setta, finchè la linea condotta per i due segni suddetti abbia preso una situazione verticale; e allora la sezione principale del romboide coincide sicuramente con un piano verticale. Ora, se si disponga l'apparecchio in modo che lo specchio sia voltato verso la luce, i raggi incidenti che fanno con esso un angolo di 35°, sotto il quale so no polarizzati, dopo essersi altrettanto reflessi in parte contraria, passeranno per il foro del diaframma, dirigendosi secondo l'asse del cilindro; e arrivati al romboide, passeranno a traverso di esso nella direzione del piano della sua sezione principale. Guardando allora per l'apertura F (*fig.* 128), si vedrà nel posto della sezione principale del romboide un'immagine semplice del foro del diaframma, sotto l'aspetto d'un piccolo circolo di luce bianca. In questo stato di cose, supponiamo che l'angolo ottuso della sezione principale sia voltato iu alto: se si imprime alla cassetta un piccolo moto di rotazione o da una parte o dall'altra, si vedrà apparire sotto la prima un'altra immagine, la quale sarà molto debole in principio, ma presto acquisterà un'intensità che anderà sempre crescendo, a misura che crescerà l'arco di rotazione; e acquisterà la massima intensità, quando questo arco essendo di 90°, la sezione principale sarà divenuta perpendicolare al piano di reflessione della luce ricevuta dallo specchio. Nello stesso tempo la prima immagine anderà continuamente indebolendosi, e finalmente sparirà affatto quando l'intensità della seconda sarà divenuta massima.

Sol che si osservi questa seconda immagine quando comincia a comparire, facilmente si vedrà che la prima è prodotta dalla refrazione ordinaria. Si osserverà che essa allora coincide con un punto vicino all'angolo acuto della sezione principale del romboide, più di quello a cui corrisponde la prima immagine, e che con la sua situazione maggiormente si allontana dall'occhio. E poichè questi son quei caratteri che derivano dalla refrazione straordinaria, così da essi si deduce la distinzione delle due immagini.

Se si prosegua il moto di rotazione al di là del termine suddetto, accaderanno effetti eguali ed opposti; cioè si vedrà comparire di nuovo la prima immagine, e divenir sempre più sensibile a misura che la seconda diverrà gradatamente più debole; e divenire di massima intensità quando questa sia affatto sparita, dopo che la rotazione abbia percorso una mezza circonferenza. È facile prevedere ciò che accaderà in virtù del moto nei due archi di 90° che misurano il resto della circonferenza, cioè da questo moto resulteranno due successioni di effetti simili a quelli che accadono nei due archi corrispondenti, principiando dall'origine del moto.

1410. Per verificar l'altro fatto, in vece del prisma ottagono si pon-

ga il pezzo rappresentato dalla *fig.* 126 *bis*, che contiene un altro specchio, l'effetto del quale si combina con quello del primo. Abbiam detto di sopra che questo specchio, il quale è indicato dal rettangolo *gnmo* (*fig.* 130) era inclinato 55° sul rettangolo *gohl*. Ora se dal centro z di questo ultimo rettangolo si alzi una retta perpendicolare al medesimo, essa farà col piano dello specchio un angolo di 35° eguale al complemento di 55°. E se intorno a questa retta si faccia girare il rettangolo *gohl*, in modo che l' una e l' altro sieno sempre perpendicolari fra loro, lo specchio che girerà nel tempo stesso, proseguirà a fare un angolo di 35° con la stessa retta: ma questa è sul prolungamento dell' arco del cilindro, dunque coincide col raggio, che dopo due reflessioni sul primo specchio cade ad angolo eguale sul secondo, e però si otterrà un tale effetto facendo girare lo specchio medesimo. Dal paragone di tali variazioni che soffre la luce reflessa da questo secondo specchio, con quelle della luce refratta che si osservarono nel romboide, resulta che il fenomeno presentato dal primo è composto di una parte resa sensibile dall' esperienza, e di un'altra che la refrazione dello specchio rende invisibile all' osservatore; e si vede ancora che la prima non è che una ripetizione di ciò che accade relativamente a quella luce, che nel romboide era soggetta alla refrazione ordinaria. Dunque se al secondo specchio si faccia fare una rivoluzione intorno all' asse del tubo, vi saranno due punti lontani uno dall' altro 180°, in cui l' immagine dell' apertura fatta nel diaframma, vista in questo medesimo specchio, sarà divenuta intensissima, e due altri punti situati fra i precedenti alla distanza di 90°, in cui essa sarà sparita. I due estremi corrisponderanno ai punti in cui i piani dei due specchi saranno paralleli fra loro, e i punti di zero corrisponderanno a quelli in cui essi saranno fra loro perpendicolari. Andando da uno di questi ultimi punti verso uno di quelli in cui l' intensità è massima, si vedrà comparir di nuovo l' immagine, e crescere progressivamente la sua intensità, finchè sia giunta al suddetto termine.

Polarizzazione in cui la luce bianca si suddivide in due raggi tinti di colori complementarii uno dell' altro.

1411. Nelle esperienze citate fin qui, la luce tanto refratta quanto reflessa da cui nascono i fenomeni, non si scompone, ma soltanto si suddivide in certi casi, dimanierachè le immagini che essa produce sono costantemente bianche. Arago ha scoperto una modificazione dello stesso fluido, in virtù della quale le medesime immagini appariscono ornate di diversi colori; e i resultamenti ottenuti da questo valente astronomo

sono tanto più degni d'attenzione, quanto che hanno aperto alle esperienze sulla luce polarizzata un nuovo campo, che acquista di giorno in giorno una maggiore estensione (*a*)

1412. Arago, con una serie d'esperienze nelle quali l'intensità dei colori andava crescendo, è arrivato a trovare il termine in cui questa intensità era massima, lo che aveva luogo, come nei casi precedenti, quando l'incidenza della luce accadeva ad un angolo di 35°; e a questo termine appunto si riferisce l'esperienza che passiamo ad esporre. L'apparecchio e la maniera d'operare son gli stessi che quelli di Malus, dei quali abbiam parlato di sopra, in cui la luce reflessa al suddetto angolo, nel penetrare in un corpo dotato della doppia refrazione, come un romboide di spato d'Islanda, soffre le stesse modificazioni, come se fosse già passata per un altro corpo che avesse la stessa proprietà. Ma Arago introduce nella sua esperienza un nuovo corpo, per cui il fenomeno prende un nuovo aspetto, cioè una sottil lastra di mica o di calce solfata, che egli applica sulla superficie inferiore del romboide

In questo stato di cose, se si fa passare la luce refratta a traverso del foro del diaframma che è in fondo al cilindro, come nell'esperienza di Malus, e se si guarda quest' apertura a traverso del romboide situato in modo, che la sua sezione principale sia parallela al piano di reflessione, la lastra di mica agirà diversamente sui raggi di diversi colori, in modo che una parte conserverà la sua polarizzazione primitiva, mentre il resto sarà di nuovo polarizzato in un modo diverso. Da ciò resulta che in vece d'un'immagine bianca se ne veggono due, situate una sopra l'altra, e che son tinte di colori complementarii.

Nella maggior parte delle esperienze, l'immagine superiore era d'un rosso violetto, e l'inferiore d'un colore verdazzurro; e si noti che di questi due colori l'ultimo è quello che occupa il mezzo dello spettro solare, e il primo è una mescolanza dei due colori estremi sullo spettro medesimo. Se quindi si facciano girare i corpi da destra o da sinistra, le due immagini si indeboliscono, comparendo successivamente con diverse tinte sempre complementarie una dell'altra; e il punto in cui l'arco di rotazione è di 45°, le due immagini divengono bianche, e al di là di questo punto i colori compariscono di nuovo in ordine inverso da quello che ha preceduta la bianchezza: e quando il moto di rotazione ha percorso 90°, le immagini compariscono di nuovo nel primo aspetto. Gli stessi effetti si ripetono agli stessi intervalli, finchè continua il moto, sicchè nella rotazione totale

(*a*) *Mem. de la Clas. des Scienc. phys. et Mathém. de l' Instit.* 1811, p. 1 e seg.

vi sono quattro punti lontani uno dall'altro 90°, in cui i colori delle due immagini hanno il massimo grado d'intensità, e quattro altri punti situati ad egual distanza dei precedenti, in cui invece di quei colori comparisce il bianco.

É chiaro dunque, come osserva Arago, che i raggi i quali son passati a traverso della lastra di mica o di calce solfata, son distinti da quelli della luce diretta, per la colorazione dei due fasci che resultano dalla loro suddivisione, e le tinte dei quali sono complementarie una dell'altra; e son pur distinti da quelli della luce già polarizzata in virtù del suo passaggio a traverso di un primo romboide, in quanto che essi producono costantemente due immagini passando a traverso di quello dell'esperienza.

1413. Tutti questi effetti cessano di comparire quando le lastre sottoposte all'esperienza oltrepassano un certo limite tanto di sottigliezza quanto di grossezza, limite che è vario nelle varie sostanze.

Inoltre la specie di colore che presenta una lastra di mica o di calce solfata, in una certa situazione e ad una data inclinazione, dipende dalla grossezza di questa lastra, dimanierachè dividendola in una direzione parallela alle sue facce maggiori in lastre più sottili, si vedono cambiare i colori a misura che si presentano successivamente alla luce queste ultime lastre.

1414 L'angolo di 35° coincide col limite in cui la luce reflessa è completamente polarizzata; ma in tutte le incidenze o maggiori o minori, una parte dei raggi ha sofferta naturalmente la stessa modificazione; e appunto nell'osservare la gradazione crescente di questa ultima parte, Arago ha trovato il termine in cui la polarizzazione è totale, lo che può verificarsi con una semplicissima esperienza. Sopra una tavola vicina alla finestra, e in una direzione parallela alla medesima, si pone un frammento di gomma lacca, o un piccolo pettine di colore molto scuro, e alquanto levigato, situandosi l'osservatore dalla parte opposta, in faccia alla finestra medesima; nel qual caso egli vedrà una luce bianca sulla parte superiore della convessità di detto corpo. E se si guarda questa luce a traverso di una lastra di mica o di gesso applicata al romboide di spato d'Islanda, si osserva che la striscia di luce bianca si suddivide in due, che presentano colori complementarii uno dell'altro. I quali colori crescono o scemano in intensità, a misura che l'occhio si alza o si abbassa, e che i raggi, cadendo più o meno obliquamente sul corpo che li riceve, si avvicinano o si allontanano dalla direzione che coincide con l'angolo, a cui corrisponde il massimo grado di polarizzazione.

1415. Abbiamo veduto che il secondo fatto scoperto da Malus dif-

ferisce dal primo, in quanto che nell'esperienza destinata a produrlo. si poneva un secondo specchio in vece del romboide di spato d'Islanda. Per mezzo della stessa sostituzione, si può trasformare l'esperienza di Arago esposta di sopra, in un'altra analoga alla seconda di Malus, sempre però con la differenza che resulta dal passaggio della luce dal bianco al colorato; ma prima di descriverne il resultamento, non dobbiamo omettere un'osservazione relativa al modo di farla.

Supponiamo che i piani di refrazione relativi ai due specchi sieno perpendicolari fra loro: se si ponga una lastra di calce solfata o di mica in vece del diaframma forato con piccola apertura, che nell'esperienza di Malus trasmetteva la luce reflessa dal primo specchio, e si faccia girare adagio adagio la lastra intorno al suo centro nel modo sopra indicato, vi sarà un punto in cui si vedranno spesso comparire sulla superficie di questa lastra diversi colori più o meno vivi, distribuiti come i pezzi di rapporto che compongono un compartimento. Questo effetto, che è molto grazioso, deriva dalla diseguaglianza di grossezza delle diverse parti della lastra che trasmette la luce. Qualche volta lo spazio occupato da uno dei colori ha la figura d'un triangolo o d'un trapezio; e se si osserva la lastra nello stesso punto, vediamo questa figura disegnarsi con una interruzione di livello.

1416 Questi diversi colori non giungono che successivamente al loro massimo grado d'intensità, secondo che le parti in cui essi si presentano sono più o meno grosse, dimanierachè se se ne sceglie una come soggetto dell'esperienza, bisogna scegliere nella rotazione della lastra quel punto, in cui il colore che è proprio di questo abbia la massima intensità. Se, per esempio, questo colore è il verde, continuando a far girare lo specchio, e tenendo dietro con l'occhio all'immagine prodotta da questo stesso colore, essa apparirà gradatamente più debole, e in fine sparirà totalmente quando l'angolo di rotazione, partendo dal massimo grado d'intensità, è di 45°. Passato questo termine, l'immagine comincerà a comparire d'un rosso violetto, che è il complementario del verde, e anderà gradatamente crescendo in intensità, finchè il moto di rotazione abbia percorso 90° dal massimo grado di forza del violetto, e 45° del suo zero; e a questo termine l'immagine violetta sarà divenuta la più intensa. E se si prosegua a girare lo specchio, accaderanno eguali effetti e contrarii. sicchè nella rotazione totale vi saranno due punti lontani uno dall'altro 180°, in cui l'immagine verde avrà acquistato il massimo grado d'intensità, e due altri punti lontani 90° dai precedenti, nei quali sarà la più intensa l'immagine violetta. Vi saranno inoltre quattro punti di zero, situati a distanze eguali dai punti di massima forza delle immagini.

1417. Fra le diverse lastre ottenute con la suddivisione d'un frammento di mica o di gesso cristallizzato, se ne trovano alcune che presentano un colore uniforme, e che possono servire per rendere più semplice l'esperienza. Si può ancora disporre sopra una lastra diversamente colorata un diaframma forato nel centro, e con questo mezzo si renderà isolato il colore che corrisponderà a questa apertura, e gli effetti compariranno più chiari e più precisi.

1418. Se invece di far girare la lastra sottoposta all'esperienza fino al punto in cui il colore sia arrivato al massimo grado d'intensità, si arresti il suo moto in uno dei termini situati al di qua di detto grado, in cui questo colore è meno vivace, e quindi si metta in moto lo specchio superiore, tutto accaderà come nel caso in cui il punto di partenza coincide col punto di massima intensità, sicchè la sola differenza consisterà nell'essere l'immagini in generale più deboli; ed egualmente per ciascun grado inferiore d'intensità primitiva, vi sarà un grado massimo relativo, che apparirà e sparirà alle stesse distanze respettive, come nel caso d'intensità assoluta.

Finalmente, se la lastra nel girare sia arrivata a uno dei punti zero, e quindi l'immagine sia sparita; e se in seguito si imprima allo specchio un moto di rotazione, l'immagine resterà nulla, e tutta la luce incidente proseguirà a refrangersi penetrando nello specchio.

Varie esperienze sulla luce polarizzata.

1419. Il celebre fisico Biot, variando il modo di sottoporre all'esperienza lo stesso apparecchio, e servendosi di una lastra di gesso cristallizzato, ha ottenuto un nuovo resultamento, a cui ha dato una grande estensione considerandolo relativamente alla teoria. Per meglio comprendere in che consista, rammentiamoci che quando la rotazione della lastra è giunta al termine in cui il colore verde, prodotto dalla reflessione sul secondo specchio, è arrivato al suo massimo grado d'intensità, si lascia questa lastra nella sua situazione, e si fa girare lo specchio, lo che produce successivamente due immagini, i colori delle quali sono complementi uno dell'altro. Al contrario per ottenere il resultamento di Biot, bisogna conservare il secondo specchio nella situazione, nella quale il suo piano di reflessione è perpendicolare a quello del primo specchio, e continuare la rotazione della lastra. Allora il colore dell'immagine resta costante, e solamente diviene gradatamente più debole fino a una distanza di 45° dal suo principio, nel qual punto l'immagine sparisce affatto; e passato questo punto essa rinasce, e cresce in

intensità finchè la rotazione non abbia percorso un nuovo arco di 45°, e così di seguito.

1420. Vediamo ora ciò che accaderebbe, se l'esperienza proseguisse il suo corso come l'altre precedentemente citate, nelle quali lo specchio superiore passa successivamente per tutte le situazioni respettive intermedie, fra le due che sono i limiti delle altre. Nel caso precedente in cui il colore dell'immagine che osservammo costante era il verde, facemmo girare lo specchio superiore per alcuni gradi; ed avendolo poi lasciato in questa situazione, imprimemmo alla lastra di gesso un moto di rotazione, finchè essa avesse percorso tutta la circonferenza. Vedemmo allora i due colori complementarii succedersi quattro volte uno all'altro, ma il colore d'un rosso violetto era più debole del verde. In conseguenza di un nuovo moto dello specchio, quasi eguale al primo, seguito da egual moto della lastra in tutta la sua circonferenza, è comparsa la stessa successione di colori, ma in modo che l'intensità del rosso violetto era cresciuta, e quella del verde era scemata. Continuato il moto dello specchio fino a 45° dal punto del suo principio, le due immagini che si succedevano finchè durava la rotazione dello specchio, erano quasi eguali in intensità, ma passato questo termine il rosso violetto era divenuto sempre più predominante; e quando in fine i due piani di reflessione coincidevano, l'immagine vista nello specchio era al massimo grado d'intensità. Lasciammo allora i due piani di reflessione nelle stesse situazioni respettive; e mentre la lastra faceva una nuova rotazione, l'immagine conservava costantemente lo stesso colore, come nel caso in cui i due piani di reflessione erano perpendicolari fra loro.

1421. Effetti analoghi son resultati sostituendo una lastra di mica a una lastra di gesso. Abbiamo inoltre sperimentata una sostanza minerale, conosciuta dai mineralisti sotto il nome di *stilbite*; e dividendo uno dei suoi cristalli, ne abbiamo staccata una lastra sottile, le facce della quale erano parallele alle due basi della forma primitiva, che hanno un aspetto perlato. Il colore di questa lastra, il quale, visto nello specchio superiore era in principio un celeste cupo, il complemento del quale era il giallo aranciato, ha poi presentato certe variazioni eguali a quelle osservate sopra una lastra di gesso o di mica. Da quanto abbiamo detto resulta, che dall'uniformità dell'immagine reflessa dallo specchio superiore, derivava già una differenza notabile fra i resultamenti dei due generi d'esperienze, fatte con lo stesso apparecchio. Ma ci è sembrata egualmente degna d'osservazione un'altra differenza fra gli stessi resultamenti, nata dal ritorno delle due immagini rinnovate quattro volte, quando i due piani di reflessione sono inclinati uno sull'altro.

1422. Il resultamento che ora passeremo ad esporre presenta la riunione di due fenomeni, che appariscono separatamente nelle esperienze precedenti: uno consiste nel colore prodotto dai raggi già polarizzati, che si sono refratti passando a traverso di una lastra di calce solfata; l'altro dipende dal colore che emana dalla reflessione immediata dei raggi, che accade sotto un angolo favorevole alla polarizzazione. Per ottenere il primo fenomeno abbiam preso un diaframma guarnito d'una lastra della calce suddetta, e l'abbiam posto nella parte inferiore del cilindro, in modo che l'immagine della lastra, veduta nello specchio mobile, compariva di color verde cupo: quindi abbiamo contrassegnato con due punti le estremità di quello de' suoi diametri che era situato parallelamente all'orlo NL (*fig.* 126) della tavoletta; finalmente abbiam coperto lo specchio GINL con un pezzo di cartone nero, sul quale abbiam posto il diaframma, in modo che il diametro indicato si trovasse di nuovo parallelo all'orlo della tavoletta. La reflessione della luce sulla lastra di calce solfata poteva in tal caso rassomigliarsi a quella, che nel caso precedente accadeva sullo specchio GINL, perchè l'angolo che corrisponde alla polarizzazione completa, è quasi lo stesso relativamente alle due sostanze. L'immagine è comparsa di nuovo nello specchio con lo stesso colore, lo che è l'opposto di ciò che accade nel fenomeno degli anelli colorati, in cui il colore prodotto dalla refrazione è il complemento di quello che deriva dalla reflessione.

1423. Per una strada un poco diversa Arago è stato il primo che abbia ottenuto un altro resultamento, con l'esperienza seguente. Si presenta una lastra di mica alla luce polarizzata, a diversi gradi di obliquità; e in tal caso dovendo i raggi passare successivamente a traverso di varie grossezze, il colore di questa lastra soffre cambiamenti analoghi a quelli i quali presenta lo strato d'aria che produce il fenomeno degli anelli colorati.

La lastra destinata par l'esperienza, e che è di forma circolare, è inserita in una piccola incassatura, fatta d'una specie d'anello di rame, nel quale può esser mossa liberamente intorno al suo centro, affinchè possa convenientemente situarsi secondo le circostanze. Questo anello è situato fra due perni di rame, in modo che ad esso si può imprimere un moto di rotazione per un verso o per l'altro intorno ad un asse orizzontale, il quale corrisponde a uno dei diametri della lastra; e però finchè dura questo moto essa resta perpendicolare al piano di reflessione dei raggi sullo specchio. Primieramente si dispone questa lastra parallelamente alla base del cilindro, e in modo che l'immagine, vista nello specchio, mostri in tutta la sua intensità il proprio colore: quindi si fa girare la

lastra in alto o in basso, e si conoscono i colori con i quali essa apparisce successivamente. Questa serie di colori varia al variar delle lastre, perchè la grossezza ancora è diversa.

1424. Il gesso che apparisce analogo al mica in tutte l'altre esperienze, in questa si scosta alquanto de tal'analogia, in quanto che i colori delle sue lastre appariscono costanti, qualunque ne sia l'inclinazione, e soltanto si osserva qualche leggiera variazione nelle loro tinte, quando l'inclinazione è molto considerevole. In tutto questo però supponiamo che i colori sieno molto vivaci e distinti, poichè quando son deboli, lo che dipende dalla sottigliezza delle parti che li reflettono, provano qualche volta cambiamenti notabilissimi, come quando passano, per esempio, dal rosso violetto al verde, o reciprocamente. Un tal contrasto fra la costanza dei colori del gesso, e la successione di tinte passeggiere nel mica, a misura che varia l'inclinazione, apparisce specialmente quando si paragonano le lastre di due sostanze diverse nel momento della lor massima intensità di colorito.

1425. Arago osservando varie sostanze, che son diverse in natura dalla calce solfata e dal mica, ha trovato da fare nuove applicazioni della sua importante scoperta. Ha ottenuto resultamenti analoghi a quelli che si osservavano in queste due sostanze, facendo uso d'una lastra di cristallo di monte di più di sei millimetri o tre linee di grossezza, lo che eccedeva i limiti in cui, relativamente alle due citate sostanze, si ristringe la proprietà di decomporre la luce bianca in colori complementarii uno dell'altro. Ha sperimentato ancora alcune lastre di flint-glass, e dai fenomeni che gli si son presentati ha potuto dedurre questa importante conseguenza: che esistono alcuni corpi, i quali non avendo la doppia refrazione, operano, relativamente ai raggi polarizzati, come se fossero dotati di questa proprietà (*a*).

1426. Partendo dagli esposti resultamenti, alcuni fisici famosi hanno estese le nostre cognizioni sulla fisica della luce; ma niuno ha tanto contribuito a questo quanto il celebre Biot, e niuno più di lui ha cercato di rendere evidente la fecondità delle leggi a cui è soggetta la luce polarizzata. Egli ha ridotte queste leggi ad una proprietà fisica delle molecole luminose, la quale gli ha servito come di chiave per un'ingegnosissima teoria della polarizzazione che egli chiama *mobile*, e che è fondata su i seguenti principii. Quando un raggio bianco polarizzato cade perpendicolarmente sopra una superficie di una lastra di mica, di calce solfata o di cristallo di monte, tutte le molecole luminose di cui

(*a*) Memoria citata al §. 1411, p. 134.

è composto penetrano primieramente fino a una piccola profondità, senza provare alcuna deviazione sensibile nella direzione dei loro assi di polarizzazione; ma giunte a questo limite, che varia al variar dei colori, cominciano tutte ad oscillare intorno al loro centro di gravità, come la bilancia d'un orinolo. Queste oscillazioni sono di eguale estensione per le molecole di tutti i colori, ma son però diseguali le velocità: le molecole violette girano più celeri delle celesti, queste più celeri delle verdi, e così di seguito fino alle molecole rosse che sono le più lente.

Ma poichè le oscillazioni successive delle molecole diversamente colorate, devon ripetersi nella grossezza della lastra a distanze dalla superficie, variabili nell'ordine stesso di quelle in cui ebbero origine, ne segue che queste distanze son maggiori o minori per le molecole di un tal colore, che per quelle d'un altro; dimanierachè nell'emergere dal cristallo quando sarà cessato il moto oscillatorio, una porzione delle molecole sarà polarizzata in un modo, e la porzione complementaria sarà polarizzata in un altro. Per mezzo di questa diversità di polarizzazione dei raggi emergenti, Biot spiega la diversità dei colori che presentano varie lastre staccate da una stessa sostanza, per mezzo di divisione meccanica, secondo la loro diversa grossezza. Paragona quindi queste diverse grossezze con quelle delle lastre sottili che trasmettono i diversi colori nel fenomeno degli anelli colorati, e trova che esse sono in rapporto fra loro; se non che questo rapporto è molto maggiore nel fenomeno della luce polarizzata.

1427 Lo stesso fisico ha osservato ancora, che quando i raggi refratti in una lastra di cristallo di monte, passavano a traverso di essa perpendicolarmente al suo asse, provavano alcune modificazioni diverse da quelle che dipendono dalle forze polarizzanti in generale. Spiega questa differenza per mezzo di una nuova ipotesi, supponendo cioè che le molecole, in questo caso, in vece di fare semplici oscillazioni, come nei fenomeni ordinarii, abbiano un moto continuo di rotazione intorno ai loro centri. Ha trovato alcuni indizii dello stesso moto in certe sostanze, le quali non solo non presentavano all'occhio veruna struttura cristallina, ma anzi erano perfettamente fluidi.

Oltrepasseremmo i limiti d'un'opera elementare, se volessimo minutamente esporre i principii di Biot, e le applicazioni che egli ne ha fatte a diversi fenomoni; ma gli amatori della fisica della luce, troveranno tutto ciò che possono desiderare su questo proposito nell'opera importante, in cui l'autore stesso della teoria ne ha data la più esatta spiegazione (*a*).

(*a*) *Recherches sur la lumière*, Parigi 1814.

DELLA VISIONE PER MEZZO D'UNA SOLA LENTE CON SUPERFICIE CURVILINEE.

Un vetro con le sue due superficie convesse è quello che propriamente si chiama *vetro lenticolare* o *lente*, nome dedotto dalla sua forma, che rappresenta due segmenti di sfera uniti per le loro facce piane; quantunque però col nome generale di *lente* si indica qualunque vetro lavorato in modo da servir d'aiuto alla visione, aggiungendo soltanto a questo termine un attributo vario al variare del modo con cui è lavorato un tal vetro. Così chiameremo *lente biconvessa* o *convesso-convessa* quella che ha convesse ambedue le superficie; e cominceremo da questa perchè è di un vantaggio più comune.

Idea delle caustiche per refrazione.

1428. Vedemmo altra volta (§. 1041) che fra i raggi i quali cadono sopra la superficie di una lente, in direzioni parallele all'asse, quelli che son vicini ad esso, dupo aver sofferto due refrazioni, una nel penetrare nella lente, l'altra nel ripassare nell'aria, concorrono quasi in uno stesso punto che si chiama il *fuoco dei raggi paralleli.*

Figuriamoci ora che nel posto di questo fuoco vi sia un punto raggiante (*fig.* 132). Fra i raggi che questo punto tramanda verso la lente in qualunque direzione, quelli che si allontanano poco dall'asse, come *rg*, *ri*, esciranno dalla parte opposta, parallelamente all'asse medesimo, nelle direzioni *mp*, *uz*. Ma i raggi più lontani da *rx*, come *rh*, *rf*, essendo più divergenti dei raggi *rg*, *ri*, e però meno disposti a infletersi quanto è necessario per divenir paralleli all'asse, ripassando nell'aria, esciranno nelle direzioni *es*, *ln*, che divergeranno tanto fra loro quanto relativamente all'asse, in modo però che questa divergenza sarà minore di quella dei raggi incidenti.

Prolungando dunque i raggi emergenti *zu*, *se*, *yq*, i loro prolungamenti si taglieranno nei punti *v*, *a*, *c*, ec. più lontani del punto *r* dalla lente, dimanierachè le loro intersezioni formeranno una caustica, come quando la reflessione accadeva sulla superficie degli specchi concavi o convessi. Queste specie di curve si chiamano *caustiche per refrazione.*

Effetti di una lente, quando l'oggetto è al di qua del fuoco dei raggi paralleli.

1429. Se il punto raggiante sia situato fra il fuoco dei raggi paralleli e la lente, i raggi che caderanno sul piccolo spazio *gi* essendo più divergenti che quando partivano da questo medesimo fuoco, ne segue che ritornando nell'aria continueranno a divergere, in vece d'esser paralleli, e nel tempo stesso crescerà la divergenza di tutti gli altri.

1430. Supponiamo ora in vece d'un punto raggiante, un oggetto AB (*fig.* 133) alquanto esteso, e posto egualmente fra il fuoco dei raggi paralleli e la lente, e l'occhio sia in O. Limitandoci anco in questo caso a considerare il corso dei raggi che partono dalle estremità A e B dell'oggetto, potremo sempre supporre due coni di luce *c* A *e*, *f* B *h* situati in modo, che dopo essersi ripiegati primieramente nell'entrar nella lente, e poi nel rientrare nell'aria, vadano a passare per la pupilla dell'occhio O. In tal caso i raggi A*c*, A*e*, ec che divergono sensibilmente partendo dal punto A, dopo la loro emergenza nelle direzioni *kr*, *pu*, non hanno più se non il piccolo grado di divergenza che si accorda con la conformazione dell'occhio, dimanierachè tutti i coni tramandati dai varii punti dell'oggetto anderanno a disegnarne l'immagine sulla retina.

Se dal lato opposto all'occhio si prolunghino i raggi *rk*, *up*, e tutti gli altri che dobbiamo figurarci come compresi fra questi, a tutti potrà applicarsi ciò che abbiamo detto dei raggi *yq*, *sc*, *zu* (*fig.* 132), cioè che le intersezioni dei loro prolungamenti non coincideranno con un punto comune. Ma poichè quelli che compongono il cono che parte dal punto A (*fig.* 133) sono vicinissimi, i punti di concorso dei suddetti prolungamenti saranno ristretti in un piccolissimo spazio, sicchè in questo, come in altri casi analoghi di cui abbiamo già parlato (1038), le direzioni dei varii raggi si riguardano come se concorressero verso un punto unico, che è come il loro centro d'azione

1431. In qualunque circostanza simile a questa, l'oggetto apparisce in situazione diretta e nel tempo stesso ingrandito, perchè l'occhio lo scorge ad un angolo *l* O *z*, sensibilmente più ottuso di AOB, sotto il quale lo vedrebbe con la semplice vista naturale.

1432. Nelle stesse circostanze la chiarezza dell'oggetto comparisce maggiore. Infatti se sia *r* (*fig* 134) uno dei punti di mezzo dell'oggetto, e sia *hi* il diametro della pupilla, tutti i raggi compresi nell'angolo *prs* passeranno per l'apertura della pupilla, nelle direzioni *qh*, *li*, e nelle altre intermedie. Se ora si prolunghino *rp*, *rs* verso l'occhio, e si tolga di mezzo la lente, i raggi contenuti nell'angolo *prs* si spargeranno su tutto lo spazio

gk, che è maggiore del diametro della pupilla; e quindi la pupilla riceverà maggior numero di raggi per mezzo della lente che nella visione naturale; e quantunque vi sia un certo numero di raggi che nel passare a traverso della lente sono intercettati, poichè questa perdita è più che compensata dalla refrazione, ne resulterà sempre un aumento di luce.

Finalmente il punto di concorso dei raggi che portano all'occhio l'immagine di ciascun punto dell'oggetto, è più lontano che nella visione ordinaria: poichè il raggio refratto *sl*, per esempio, ripassando nell'aria, si allontanerà dalla perpendicolare nel punto *l* in una direzione *li*, in modo che il suo prolungamento *lz* passerà a destra del punto *s*: dal che segue, che i raggi *il*, *hq* concorreranno in un punto *z* lontano dall'occhio più del punto corrispondente *r* dell'oggetto.

1433. In quanto al nostro giudizio relativamente alle dimensioni e alla distanza dell'immagine, ognuno sa che essa comparisce realmente più grande dell'oggetto, e che nel tempo stesso si giudica più vicina, quando i raggi che la disegnano nel fondo dell'occhio sieno diretti come se partissero da un oggetto immaginario lontano dall'occhio più del vero oggetto. Ma questo non è in certo modo che un giudizio precipitato, in forza primieramente dell'aumento di grandezza, e quindi ancora dell'aumento di chiarezza. Infatti se si faccia passare adagio adagio un ago piuttosto lungo sotto una lente, in una direzione trasversale, e a una giusta distanza dalla lente, e si paragoni attentamente la situazione dell'immagine con quella dell'oggetto, si osserverà che l'immagine è sensibilmente più lontana, principalmente se la lente è alquanto larga; la qual differenza si scorgerà ancor meglio facendo passare e ripassar l'ago parallelamente a se stesso, poichè v'è qualche circostanza in cui l'occhio potrebbe pur ingannarsi giudicando avvicinato un oggetto solamente perchè gli comparisce più grande.

Caso in cui l'oggetto è al di là del fuoco dei raggi paralleli.

1434. Torniamo alla considerazione di un semplice punto raggiante *r* (*fig.* 132), e supponiamo che questo punto, partendo dal fuoco dei raggi paralleli, si allontani a poco a poco dalla lente: in tal caso, poichè i raggi che caderanno sul piccolo spazio *gi* sono meno divergenti che quando il fuoco dei raggi paralleli era il punto da cui partivano, per questa ragione appunto saranno obbligati a convergere tanto fra loro quanto con l'asse dietro alla lente: nel tempo stesso scemerà la divergenza dei raggi *es*, *qy* più lontani dall'asse, e vi sarà un punto in cui tutti i raggi emergenti inclineranno verso l'asse medesimo, come apparisce dalla *fig.* 135. In questo ultimo caso, fra i raggi situati da una

stessa parte dell'asse, ciascuno sarà tagliato dal seguente, e potremo figurarci una caustica che passi per tutti i punti d'intersezione.

1435. Sostituiamo di nuovo a un semplice punto un oggetto AB (*fig.* 136) alquanto esteso in lunghezza, supponendolo sempre posto al di là del fuoco dei raggi paralleli, e per maggior semplicità consideriamo soltanto ciò che accade relativamente al punto R del mezzo, e ai due punti estremi A e B. Qui pure il punto R è il vertice comune di moltissimi coni che cadono in diversi punti della superficie della lente; e fra tutti questi coni, quello che ha il suo asse R*t* perpendicolare alla superficie refrangente *mtn* è composto di raggi che si riuniscono visibilmente in un punto comune *r* dietro alla lente, dimanierachè in questo punto viene a formarsi un fuoco (*a*).

Da ciascuna estremità A parte egualmente un numero infinito di coni più o meno obliqui, le basi dei quali corrispondono a diversi punti della superficie *mtn*; e fra tutti questi coni ve n'è uno, i raggi del quale concorrono pure quasi in uno stesso punto dietro alla lente, ed è quello di cui l'asse A*c* è situato in modo, che dopo essersi refratto nella direzione *ch*, incontra la superficie *mxn* nel punto in cui la tangente al punto d'incidenza *h* sull'arco concavo, è parallela alla tangente nel punto d'incidenza *c* sull'arco convesso. In questo medesimo caso il raggio refratto *ch* passa per il mezzo della lente (*b*). È chiaro che vi sarà sempre un cono tramandato dal punto A, il quale soddisfarà a queste

(*a*) Abbiamo provato altrove (*nota* al §. 1040), che la formula la quale in questo caso dà l'espressione della distanza dal fuoco alla lente, è $z = \frac{mab}{(1-m)2b-ma}$, quantità in cui *a* rappresenta il raggio della sfericità, che si suppone lo stesso per le due superficie, *b* la distanza dal punto raggiante alla lente, e $\frac{1}{m}$ il rapporto fra i seni. Ora, nel caso d'una lente di vetro, $m = \frac{20}{31}$; dunque $z = \frac{10ab}{11b-10a}$.

(*b*) Sia *mn* (*fig.* 137) una lente, di cui i due archi *mxn*, *mtn*, che per presentare un caso più generale supporremo di diversa curvatura, abbiano i loro centri in *b* e in *l*. Sull'asse *bl* prendiamo un punto *o* situato in modo che *bo* stia ad *ol*, come il semidiametro dell'arco *mxn* sta a quello dell'arco *mtn*. Per questo medesimo punto conduciamo una retta *ch*, che passi a traverso della lente in una direzione qualunque, e conduciamo quindi i due semidiametri, *bh*, *lc*. Nei triangoli *boh*, *loc*, abbiamo *bo* : *ol* :: *bh* : *lc*; inoltre *col* = *hob*. dunque questi triangoli son simili; dunque *oct* = *ohb*. Dunque se consideriamo la linea *ch* come raggio incidente, relativamente agli archi *mxn*, *mtn*, questo raggio essendo egualmente inclinato sulle linee, *lc*, *bh*, perpendicolari alle superficie refrattive, le refrazioni nelle direzioni *ca*, *ho'* saranno eguali, e però queste linee son parallele. In conseguenza di quanto abbiamo detto, il punto *o*, che ha evidentemente una situazione invariabile, si chiama *centro della lente*.

condizioni, poichè supponendo che la linea *xt*, la quale fa parte dell'asse del cono tramandato dal punto R, restando fissa col suo punto di mezzo che coincide col centro della lente, giri intorno a questo centro in modo che la sua estremità *t* percorra l'arco *tm*, e che il suo prolungamento si refranga continuamente nello spazio situato fra *tm* e RA, questo prolungamento farà capo successivamente a diversi punti posti fra R ed A, e finalmente coinciderà col punto A. È chiaro dunque che in questo punto la linea *xt* avrà la situazione *hc*, e quindi se si consideri ora A*c* come raggio incidente, il raggio refratto sarà *ch*.

È chiaro egualmente che A*c* nel ripassare nell'aria dopo la sua refrazione in *h*, prenderà una direzione *ha* parallela a quella che aveva in principio; e se la lente abbia poca grossezza, il raggio *ha* si potrà considerare come se fosse sulla direzione del raggio A*c*, formando con esso una sola linea.

Da ciò segue che fra tutti i coni tramandati dal punto A, quello a cui appartiene l'asse A*c* si troverà più d'ogni altro nelle circostanze del cono di mezzo, l'asse del quale è la linea R*t*; e questo cono sarà altresì quello i raggi del quale concorreranno sensibilmente dietro alla lente in un punto comune *a*.

1436. Lo stesso raziocinio potrà applicarsi a tutti i coni partiti dagli altri punti dell'oggetto AB, dal che apparisce che i raggi di tutti questi diversi coni avranno i loro fuochi presso a poco sopra la linea *bra* parallela alla linea ARB. Ma dovunque è un fuoco si forma un'immagine del punto raggiante a cui appartiene questo fuoco; e da ciò nasce, che se si ponga a giusta distanza dietro alla lente un cartone, si vedrà su questo dipinta l'immagine. Si comprende ancora perchè nel medesimo caso l'immagine è rovesciata, cioè perchè i soli coni, i raggi dei quali sono per così dire ammassati in modo da produrre questi fuochi, si intersecano in mezzo alla lente. Su questo principio è fondata la costruzione della camera ottica, di cui daremo la descrizione a suo luogo.

Facilmente si vede, che la lente della sopracitata esperienza è, relativamente al cartone che presenta l'immagine dell'oggetto, ciò che è il cristallino, relativamente alla membrana che riveste il fondo dell'occhio, e che riceve egualmente le immagini degli oggetti; se non che la lente agisce sola per produrre l'immagine che si vede sul cartone, mentre i diversi umori dell'occhio concorrono col cristallino a rappresentare gli oggetti sulla retina.

1437. Senza cambiar circostanze, in vece di supporre nel luogo dell'immagine *ab* un cartone sul quale l'occhio vegga questa immagine, come sopra un quadro, per mezzo dei raggi che vengono reflessi dai varii punti di essa, sopprimiamo il cartone, e figuriamoci che l'oc-

chio stesso vada a collocarsi dietro alla lente, per vedere immediatamente l'immagine dell'oggetto AB (a). In tal caso è chiaro primieramente che esso non potrà più vederla per mezzo dei raggi *fb*, *ha*, ec. che avevano servito a presentargliela quando era dipinta sul cartone, poichè gli assi dei coni ai quali appartengono questi raggi seguitano a divergere, mentre sarebbe necessario che convergessero verso l'occhio.

Sol che si osservi la specie di cambiamento di scena che accade in questo caso, si rileva naturalmente che i raggi ancora hanno cambiato direzione; poichè allora si veggono comunemente due immagini dell'oggetto, e inoltre ciascuna immagine non è vista che da un occhio solo, in modo che quella la quale è situata dalla parte sinistra si dipinge nell'occhio destro, e reciprocamente, lo che si prova chiudendo e aprendo alternativamente ciascun occhio. Finalmente, quantunque i raggi che in questo caso arrivano da ciascun punto dell'immagine a un organo o all'altro, proseguano ad incrociarsi fra la lente e questo organo, come vedremo fra poco, pure noi non riferiamo più questa immagine al suo vero posto, cioè nel punto dove si incrociano i raggi, ma essa ci comparisce come se fosse dietro alla lente, quasi come quando l'oggetto è situato al di qua del fuoco dei raggi paralleli, se non che in questo caso essa è rovesciata e minore dell'oggetto. Fra poco parleremo d'un caso particolare, in cui le due immagini si riducono a una sola, che si vede allora con ambedue gli occhi.

1438. Si tratta ora di provare che fra i diversi coni, i quali dai diversi punti d'un oggetto AB (*fig.* 138) si dirigono verso la lente, ve ne saranno sempre alcuni che saranno ripiegati dalla refrazione, in modo da produrre gli effetti descritti di sopra. Supponiamo che i due occhi sieno situati in o ed o'. Dal punto B parte un fascio *eBu*, di cui i raggi estremi B*e*, B*u* si refrangono nella lente nelle direzioni *es*, *uz*; e poichè il raggio emergente che esce da *s* è più lontano dall'asse di quello che esce da *z*, esso inclinerà verso di questo; dimanierachè i due raggi dopo essersi incrociati in *b*, si dirigeranno verso l'occhio, e tenderanno a fargli vedere in questo punto stesso, o in vicinanza, l'immagine del punto B. Con un simile raziocinio si proverà, che il fascio A*d* tende a produrre lo stesso effetto sull'occhio o, relativamente all'immagine che si forma in *a* del punto A, e così di tutti i punti intermedii dell'immagine *ab*. Tutto questo si applica naturalmente all'immagine *a'b*, che l'occhio o' scorge per mezzo dei fasci Ag e

(a) In questo caso l'occhio deve esser situato al di là del fuoco dei raggi paralleli che è dalla sua parte.

B*f*, ed è chiaro che le due immagini sono ambedue rovesciate e minori dell' oggetto.

Questa circostanza particolare che abbiamo considerato, è analoga a quella che ha luogo quando per mezzo d'uno specchio concavo (§. 1290) si scorge l'immagine doppia, tanto davanti quanto dietro allo specchio, perchè l'occhio che è avvezzo ad avvicinare e identificare per così dire le due immagini nei casi ordinarii, quando esse coincidono quasi perfettamente, le riceve in questo caso tanto separate di situazione, che non resta più illuso nell'idea che gliele farebbe giudicare riunite in una sola.

1439. Ma può accadere che gli occhi, variando il loro moto, giungano ad una situazione, sotto la quale i quattro fasci si incrocino a due a due nei punti in cui ancora i loro raggi hanno la propria intersezione, nel qual caso i punti *a*, *a'* da una parte, e i punti *b*, *b'* dall'altra si confonderanno, come vien rappresentato dalla *fig.* 139; e in tal caso non vi sarà più che una sola immagine, la quale sarà vista dai due occhi insieme.

Il primo fenomeno, cioè quello che produce le due immagini rappresentate dalla *fig.* 138, è particolare, perchè i luoghi ai quali si riferiscono queste immagini, non sono situati fra la lente e l'oggetto; e per spiegare questa singolarità facciamo la seguente osservazione. Ciascuna di queste immagini non si vede che con un occhio solo, come abbiamo già detto, dal che segue che non v'è che un solo asse ottico diretto verso ciascuna immagine, e così manca una di quelle condizioni che comunemente son necessarie per aiutarci a ben giudicare della situazione degli oggetti (§. 1222), e che divengon tali specialmente quando si guarda per mezzo d'una lente, che in certo modo toglie l'occhio dal suo stato ordinario. Si aggiunga che nel caso presente la situazione del vero oggetto al di là della lente, ci porta a giudicare che la vera immagine è situata dalla stessa parte.

1440. Se si presenta al di qua della lente un vetro appannato, nel punto in cui si formano alcuni coni partiti dai diversi punti dell'oggetto, si scorgeranno le due immagini su questo vetro medesimo, come se fosse necessario dare un fondo a questa pittura, delineata in qualche maniera nell'aria, per toglier l'occhio dall'illusione che gli produce la presenza della lente; e se non v'è che una sola immagine, essa comparisce o sparisce secondo che si chiude un occhio o l'altro, come accaderebbe senza l'interposizione d'un vetro appannato; lo che prova che in questo caso il disegno dell'immagine è portato nel fondo dell'occhio, non da nuovi raggi reflessi dalla superficie posteriore del vetro, ma dai prolungamenti stessi dei raggi ricevuti da questo quadro, i quali penetrando

nella lente vanno in fondo dell'occhio: ed è questo intanto un mezzo di riferire l'immagine al suo vero posto.

1441. Ma ecco un'esperienza che produce lo stesso effetto senza verun intermezzo. Si ponga una lente in una situazione verticale, a una data distanza da un oggetto molto sensibile, come una palla di metallo attaccata all'estremità superiore d'un filo di ferro verticale, in modo che si possano vedere due immagini di questa palla a traverso della lente: se quindi gli occhi vadano allontanandosi a grado a grado, nel tempo stesso le due immagini si avvicinano fra loro e divengono sempre più piccole, e finalmente v'è un punto in cui si riuniscono in una sola; e allora i due assi ottici trovandosi diretti sopra quest'unica immagine, essa si vedrà distintissima al di qua della lente. È questo il caso rappresentato dalla *fig.* 139.

Ora, se proseguendo a guardar fissa l'immagine si avvicinino gli occhi a poco a poco alla lente, si vede sempre l'immagine semplice, quantunque si passi per certi punti nei quali prima si era veduta doppia, e inoltre essa si avanza quasi naturalmente verso l'osservatore. A noi stessi è accaduto qualche volta in simili circostanze, di portar questa immagine alla distanza di sette o otto centimetri dall'occhio, del che potevamo giudicare facilmente avanzando il dito in modo che si trovasse accanto all'immagine: e per giungere nuovamente a vederla doppia, eravamo obbligati a principiar di nuovo l'esperienza, dopo aver guardati altri oggetti, quasi per scancellare l'ultima impressione, e produrre di nuovo quell'illusione che era stata allontanata da quell'impressione medesima.

Mezzo di rimediare al difetto della vista nei presbiti.

1442. Non v'è occhio d'individuo, per quanto ben conformato dalla natura, il quale con l'andar dell'età non soffra qualche alterazione; poichè i suoi umori si seccano e scemano di volume, la cornea e il cristallino si spianano, e in questi mezzi così alterati la luce divien meno inflessa per via di refrazione; in conseguenza i vertici dei pennelli che si formano nell'occhio non cadono più sul fondo di questo organo, ma tendono ad oltrepassarlo. L'immagine allora, in vece d'esser composta di punti distinti, non è più che una riunione confusa di piccoli circoli che si sorpassano l'un l'altro. Da ciò si rileva la ragione per cui coloro ai quali comincia a indebolirsi la vista a cagione dell'età, e che si chiamano *presbiti*, possono leggere assai distintamente, ponendo il libro più lontano dai loro occhi; poichè in tal modo i coni di luce tramandati dai diversi punti della scrittura o della stampa, avendo assi

più lunghi, mentre conservano la propria base eguale al circolo della pupilla, ne segue che in generale i raggi andando verso l'occhio divergono meno che se il libro fosse più vicino ad esso, e questa divergenza li rende più adattati a convergere in virtù della loro refrazione negli umori dell occhio; per la qual cosa si avvicina tanto il loro punto di concorso, da farli corrispondere sulla retina. Ma quando al crescere del vizio dell'occhio, il vecchio perde questa risorsa, vi supplisce per mezzo di vetri leggermente convessi, chiamati *occhiali*, che producono l'effetto di scemare la divergenza dei raggi, i quali in tal caso giungono all'occhio come se partissero da un punto più lontano; dimanierachè quando i vetri hanno un grado di convessità adattato allo stato dell'occhio, i raggi concorrono nel fondo di esso.

Uso delle lenti per eccitare la combustione.

1443. Quando si presenta una lente ai raggi solari, in modo che il suo asse coincida con la loro direzione, questi raggi dopo essersi refratti due volte, cioè una volta nel passare a traverso della lente, e l'altra nel ripassare nell'aria, vanno a riunirsi in un certo spazio situato sull'asse, e che si chiama il *fuoco* della lente. I corpi esposti all'attività di questo fuoco, provano certe alterazioni analoghe a quelle prodotte dal fuoco dello specchio concavo (§. 1189); e in tal caso la lente prende il nome di *specchio ustorio*. Tschirnausen e Hartzoeker hanno costruite alcune di queste lenti di 13 decimetri ossia 4 piedi di diametro.

Quanto più tali lenti sono grandi, tanto maggiore è il numero dei raggi compresi nel fuoco: questo fuoco però è propriamente una riunione di moltissimi fuochi, i quali disperdendosi sopra varii punti dell'asse, fanno sì che i raggi perdono una gran parte della loro attività, ma possiamo fare in modo che essi producano più potenti effetti, facendoli passare per un'altra lente più piccola, e di forma molto convessa. Una tal lente riunisce così il vantaggio che resulta da una maggiore abbondanza di raggi, cioè quello di ristringerli in uno spazio minore, in cui esercitano un'azione molto più energica.

Effetti delle lenti biconcave.

1444. Dopo avere ben conosciuti gli effetti delle lenti biconvesse si comprendono facilmente quelli delle lenti biconcave o *concavo-concave*, che in generale hanno proprietà contrarie.

Queste infatti fanno vedere gli oggetti più piccoli del vero, perchè i due lati dell'angolo visuale, il quale misura la grandezza apparente

dell'oggetto, perdendo una parte della loro convergenza nel passare a traverso della lente, questo angolo divien minore di quello che sarebbe per la semplice vista.

1445. Le stesse lenti scemano la chiarezza degli oggetti, perchè ciascun pennello di luce si dilata per effetto della refrazioue; e per questo motivo arriva alla pupilla un minor numero di raggi, di quello che se il pennello avesse conservato il grado di dilatazione che aveva nel partire dall' oggetto.

1446. Finalmente se i raggi che entrano nell' occhio sieno prolungati dalla parte opposta, il loro punto di concorso sarà più vicino all' occhio, che nel caso della visione ordinaria; e questa pure è una conseguenza della dilatazione dei pennelli, che rende i raggi più divergenti verso l'occhio, ossia più convergenti dalla parte opposta, di quello che se non vi fosse la lente.

È vero che quando guardiamo un oggetto a traverso di una lente biconcava, lo giudichiamo in principio più lontano di quello che ci comparisce alla vista semplice, perchè ci comparisce più piccolo; ma a un colpo d'occhio possiamo rettificare un tal giudizio. Facendo infatti un' esperienza simile ad un'altra che già indicammo (§. 1433) quando parlavamo della lente biconvessa, cioè se facciamo passare e ripassare dietro ad una lente biconcava un oggetto sottile ma alquanto lungo, e se paragoniamo la distanza apparente della parte vista per refrazione con quella dell' altra parte che oltrepassa la lente, e che si vede a occhio nudo, ci accorgeremo facilmente che la prima distanza è minore dell' altra.

Mezzo di rimediare al difetto di vista nei miopi.

1447. Si chiamano *miopi* qnelli, che per un difetto naturale hanno la cornea e il cristallino troppo convessi. Questa convessità che accresce la quantità della refrazione, tende a rendere più convergenti i raggi dei pennelli che si formano nell'occhio, in modo che il punto di concorso degli stessi raggi è situato al di qua della retina. I miopi quindi non veggono distintamente se non gli oggetti vicini, che tramandano verso l'occhio raggi più divergenti, e però meno disposti a convergere, per effetto della refrazione, nel cristallino e negli umori dell'occhio. Poichè questa imperfezione è opposta a quella dei presbiti, si rimedia ad essa con l'uso di una lente non molto concava, la quale accrescendo la divergenza dei raggi che riceve l'occhio, rende più lunghi i pennelli che si formano in questo organo, e fa sì che i loro vertici cadano esattamente sulla retina.

1448. Sembra che i miopi abbiano simpatia per i piccoli oggetti: la maggior parte scrivono con caratteri piccolissimi, e nel leggere preferiscono le stampe di carattere minuto, poichè adottando dimensioni adattate allo stato del loro occhio, cercano di abbracciare. per così dire, con un solo sguardo il maggior numero possibile d'oggetti. Hanno ancora l'abitudine di chiudere in parte le palpebre, quando vogliono vedere distintamente oggetti troppo lontani da loro; e questo moto naturale si dice che ha due vantaggi. Da una parte esso obbliga la palpebra a contrarsi, e a lasciar entrare una minor quantità di luce: ma i miopi non veggono confusamente gli oggetti situati a una certa distanza, se non perchè i coni che si formano nei loro occhi. hanno, come abbiamo detto, il loro vertice di quà dalla retina, dimanierachè i prolungamenti dei raggi che formano questi coni, producono nuovi coni, la base dei quali incontrando il fondo dell'occhio, vi dipinge un piccolo circolo, invece di un semplice punto: dunque quando è scemato il numero dei raggi che si introducono nell'occhio, questo piccolo circolo è più ristretto, e la visione ne diviene meno confusa. Dall altra parte le palpebre nel chiudersi esercitano sull' organo una pressione che ne scema la convessità, e gli danno in parte una forma più favorevole per la purità e chiarezza della visione.

Microscopio semplice.

1449. Quando vogliamo osservare piccolissimi oggetti come stami o pistilli di fiori, o le parti di un insetto, ci serviamo comunemente di una piccola lente che ha una distanza focale cortissima. o d'un globetto di vetro; e questo strumento si chiama *microscopio semplice*. E primieramente facciamo l'esperienza con una lente *mn* (*fig.* 140): è chiaro che se questa lente è sottile, e se l'occhio sia applicato in *o*, vicinissimo alla superficie di essa, l'angolo *aob* sotto il quale l'occhio vedrà l'oggetto *ab*, che si suppone piccolissimo, sarà quasi lo stesso che nel caso della vista semplice; poichè i raggi *ao*, *bo* passeranno vicinissimi al punto di mezzo *c* della lente, e in conseguenza esciranno visibilmente paralleli alle direzioni che avevano nel partire dall'oggetto, dimanierachè le loro inclinazioni scambievoli non saranno quasi nulla disturbate dall'effetto della lente Quindi è che il microscopio semplice fa vedere gli oggetti presso a poco della medesima grandezza apparente, della quale sarebbero comparsi visti immediatamente alla stessa vicinanza dall'occhio. Ecco ora qual vantaggio produce l'uso della lente.

1450 Un piccolo oggetto posto vicinissimo all'occhio nudo, non produce in esso se non un'immagine confusa, perchè i raggi che com-

pongono i coni di luce tramandati dai diversi punti di questo oggetto, essendo visibilmente divergenti, non possono ripiegarsi abbastanza negli umori dell' occhio, perchè i vertici dei coni interni vadano a far capo alla retina. I punti di concorso tendono a formarsi più lungi; e si può dire che in questo senso tutti gli uomini son presbiti. Ciò si può verificare facilmente guardando un piccolo oggetto posto vicinissimo all' occhio: in tal caso l' immagine di questo oggetto comparirà molto ingrandita, perchè l' occhio essendo, per così dire, di qua dai limiti nei quali è ristretto il campo delle sue osservazioni ordinarie, dalla grandezza apparente giudica della grandezza reale, come quando è al di là degli stessi limiti, cioè quando l' oggetto è lontanissimo da esso; ma nel tempo stesso l' immagine, per la ragione già indicata, prenderà la forma come di una specie di nebbia.

Se nelle stesse circostanze si guardi un corpo a traverso d'una carta traforata con uno spillo, l' immagine comparirà molto più chiara, perchè questo foro non lascerà passare se non una piccola porzione dei raggi che appartengono a ciascun cono; sicchè i piccoli circoli che formeranno sul fondo dell' occhio i coni interni, essendo quasi ridotti a semplici punti, le loro impressioni saranno molto più distinte.

1451. Il microscopio semplice dunque scema sensibilmente la divergenza dei raggi che compongono i coni partiti dall' oggetto, e li fa giungere all' occhio sotto il medesimo grado d' inclinazione, come se venissero da un oggetto situato a una distanza ordinaria. Quindi la visione di questo oggetto diverrà distinta, e nel tempo stesso l' immagine diverrà più chiara, perchè in questo caso la refrazione riunisce e condensa i raggi, in modo che ne arriva alla pupilla un numero maggiore di quello che essa ne riceverebbe senza l' interposizione della lente (§. 1441); e perchè l' angolo visuale resta lo stesso, l' oggetto sarà visto della stessa grandezza apparente. Così si sa che in generale un uomo dotato di buona vista, scorge distintamente un oggetto alla distanza di circa 22 centimetri, ossia 8 pollici; ma se l' oggetto è piccolissimo, l' angolo sotto il quale si vede a una tal distanza, ristringe talmente l' immagine nel fondo dell' occhio, che la visione non è più molto chiara. Il microscopio presenta un' immagine simile a quella d' un oggetto di moltissima grandezza, che fosse posto a questa distanza di 22 centimetri, in cui la visione immediata è distinta; lascia all' occhio il vantaggio di accrescerne la grandezza, e fa sparire l' inconveniente che nasce dalla troppa vicinanza dell' oggetto.

Si dispone la lente in modo che l' oggetto coincida sensibilmente col fuoco di essa, perchè allora i raggi di ciascun pennello esterno giungono all' occhio o paralleli o pochissimo divergenti; ed è questa appunto

argomento consiste nel determinare la costruzione più vantaggiosa per rendere questa immagine distinta, grande e chiara più che sia possibile. L'occhio che la riceve, fa parte, in certo modo, del telescopio o del microscopio; e così l'organo e lo strumento riuniti formano quasi un solo strumento ottico, o se così piace, un occhio unico, che riunisce tutto il potere della natura e dell'arte, per portare la visione al massimo grado di perfezione.

Telescopio o cannocchiale astronomico.

1454. Il più semplice di tutti i telescopii è quello che si dice propriamente *telescopio* o *cannocchiale astronomico*: esso è composto di due lenti convesse, una delle quali *gh* (*fig.* 141), che è voltata verso l'oggetto, si chiama *oggettivo* o *obbiettivo*, e l'altra *kn* situata verso l'occhio o è l'*oculare*. Questa è più convessa dell'altra, e il suo fuoco *r* si confonde con quello dell'obbiettivo *gh*, sicchè *cl* è eguale alla somma delle distanze focali. L'occhio posto nel punto *o*, in cui è situato l'altro fuoco dell'oculare, riceve raggi che con la loro impressione rappresentano nell'organo l'oggetto rovesciato e ingrandito moltissimo.

Solamente guardando la figura si vede chiaramente, che l'obbiettivo *gh* produce primieramente in *ab* un'immagine dell'oggetto lontanissimo AB, simile a quella di cui abbiamo esposta precedentemente la formazione (§. 1235), e che si potrebbe ricevere immediatamente, ponendo un cartone bianco alla distanza *rc* dal centro dell'obbiettivo. Questa immagine si trova sostituita al vero oggetto, e i pennelli *kpm*, *nax*, ec. che partono dai suoi diversi punti, e i raggi dei quali non son altro che i prolungamenti di quelli che son passati a traverso dell'obbiettivo, si ripiegano nell'oculare in modo, che ripassando nell'aria, concorrono verso l'occhio nelle direzioni *zo*, *po*, mentre i raggi di ciascun pennello perdono quasi tutta la lor divergenza, dal che nasce la chiarezza dell'immagine nel fondo dell'occhio. Dall'altra parte, poichè l'angolo *zop* sotto il quale l'occhio scorge l'oggetto fittizio *ab* è molto maggiore di quello sotto il quale vedrebbe il vero oggetto, la grandezza apparente si trova notabilmente accresciuta; e con la Geometria si prova; che essa sta alla grandezza di cui comparirebbe l'oggetto, visto dall'occhio immediatamente, come la distanza focale dell'obbiettivo sta a quella dell'oculare (*a*).

(*a*) Sia AB (*fig.* 142) il diametro d'un oggetto lontanissimo, come la luna; sieno *r*, *c* i fuochi dei raggi paralleli, relativamente all'obbiettivo, *gh*, ed *f* quelli dei raggi paralleli, relativamente all'oculare *kr*. A motivo della gran

Da ciò segue che si guadagna per parte delle dimensioni, facendo uso di oculari di un fuoco più corto; ma nel tempo stesso si perde per parte della chiarezza dell'immagine che si dipinge nel fondo dell'occhio, perchè i raggi d'uno stesso pennello, dopo esser passati a traverso di un oculare, il fuoco del quale come più avvicinato richiede una maggior convessità, non concorrono tanto esattamente sulla retina in un punto comune.

Cannocchiale di Galileo.

1455. Il cannocchiale che abbiamo descritto non serve che per gli oggetti celesti, per i quali poco importa il rovesciamento dell'immagine. Per gli oggetti terrestri è stata immaginata un'altra specie di cannocchiale, conosciuto sotto il nome di *Cannocchiale Batavo*, o *Cannocchiale di Galileo*, che è composto d'un obbiettivo convesso e d'un

distanza a cui è situato l'oggetto potremo sempre supporre, che un raggio partito da un'estremità A di questo oggetto, dopo esser passato per il fuoco *m*, vada a incontrare la lente *gh*; per la qual cosa esso ne escirà in una direzione *hn* parallela all'asse *Rr*, e dopo essersi nuovamente refratto nella lente *kn*, si dirigerà verso il fuoco *f*. Figuriamoci ora un altro raggio *Ac* che passi per il centro della lente *gh*: in tal caso il raggio refratto *co* facendo un angolo piccolissimo con l'asse *cl*, in modo che gli è quasi parallelo, escirà dalla lente *kn* in tal direzione, che il punto o in cui anderà a tagliar l'asse, coinciderà quasi col fuoco *f* dei raggi paralleli. Ora il raggio *Aco* può riguardarsi come l'asse del pennello che forma in *a* una delle estremità dell'immagine situata nell'intervallo fra le due lenti; e poichè i punti *o*, *f*, come pure le direzioni dei due raggi che fanno capo a questi punti, son vicinissimi a confondersi, supponendo l'occhio situato in *o*, l'angolo *nfl* sarà sensibilmente quello, sotto il quale questo occhio vede a traverso del telescopio il semi-diametro dell'immagine ingrandita. Ma perchè l'oggetto è lontanissimo, l'intervallo fra i punti o, *m*, deve considerarsi come nullo; dimanierachè si può supporre che l'angolo *Am*R, o il suo eguale *cmh*, sia quello sotto il quale l'occhio vedrebbe il semi-diametro dell'oggetto con la semplice vista. Dunque nella visione per mezzo del telescopio, la grandezza apparente starà a quella che resulta dalla visione naturale, come l'angolo *n f l* sta all'angolo *cmh*. E poichè questi due angoli son piccolissimi, e appoggiati sopra lati eguali *ch*, *ln*, stanno sensibilmente fra loro come *cm*, o *cr* sta ad *f l*.

Infatti se si facciano coincidere *cmh*, *lon* per i loro lati *ch*, *ln*, come è rappresentato dalla *fig.* 143, gli angoli *chm*, *coh*, che si suppongono sempre piccolissimi, saranno quasi come i loro seni, o come i lati *oh*, *hm*, che nel triangolo *moh* sono opposti a questi angoli. Ora il rapporto di *oh* ad *hm* differisce esso pure pochissimo da quello di *co* a *cm*, che sono le due distanze focali. V. Huygens, *Opera reliqua*, Amstelod. t. II, Dioptr., p. 134, e Smith, *Traité d'Optique*, p. 76.

oculare concavo, e che fa vedere gli oggetti in situazione diretta. Vediamo qual sia l'andamento della luce in questo cannocchiale.

Quando un oggetto è situato dietro a una lente convessa, al di là del fuoco dei raggi paralleli, l'immagine che dal lato opposto formano i raggi partiti dai diversi punti dell'oggetto (§. 1438), diviene minore a misura che questo oggetto è più lontano. E l'immagine che è prodotta dall'obbiettivo del cannocchiale batavo è così piccola, che lo spazio che essa occuperebbe sopra un cartone posto a una giusta distanza, sarebbe sensibilmente minore della superficie sulla quale gli oggetti si dipingono sul fondo dell'occhio.

Sia *gh* l'obbiettivo (*fig.* 144), e sieno AC, BC due raggi partiti dalle estremità dell'oggetto, i quali dopo essersi incrociati nel centro C dell'obbiettivo sarebbero andati a formare in *ab* una piccola immagine dell'oggetto. Se si ponga un oculare biconcavo *kn* fra l'obbiettivo e questa immagine, i raggi divergenti C*s*, C*t*, divergeranno ancor più passando a traverso di questo oculare, e prenderanno le direzioni *s'b'*, *t'a'*; e quindi se la linea D*d* rappresenti il diametro della pupilla dell'osservatore, questi vedrà l'immagine dell'oggetto di una grandezza *b'a'*, molto maggiore di quella della quale gli comparirebbe se la vedesse senza verun intermezzo.

Sieno C*s*, C*t* gli assi dei pennelli tramandati dai punti A e B: i raggi che formano questi pennelli convergeranno verso l'oculare, poichè altrimenti anderebbero a riunirsi in *a* e in *b*; ed è tale la curva di questa lente, che essa tenderà i raggi emergenti paralleli o quasi paralleli; dimanierachè entreranno nell'occhio in direzioni adattate a produrre un'immagine distinta nel fondo di esso.

Finalmente è chiaro che l'oggetto comparirà retto, perchè i raggi partiti dai punti A e B, invece d'incrociarsi secondo il solito nel passare a traverso della pupilla, si saranno incrociati passando a traverso dell'obbiettivo, lo che produce lo stesso effetto relativamente alla situazione dell'immagine.

Tale è dunque l'effetto dell'oculare *kn*, che i raggi i quali tendevano a far nascere nello spazio l'immagine *ab*, per mezzo di esso la dipingono in fondo dell'occhio con maggiori dimensioni, come se quest'immagine fosse quella d'un oggetto situato al di là di *z*, e le estremità della quale tramandassero tali raggi, che dopo essersi incrociati in questo medesimo punto, proseguissero il loro cammino, senza incrociarsi neppure nella pupilla, nelle direzioni *zb'*, *za'*. La grandezza apparente dell'immagine sta a quella della quale l'occhio vedrebbe l'oggetto con la semplice vista, nel rapporto della distanza fo-

cale dell' obbiettivo a quella dell' oculare, come nel cannocchiale astronomico (*a*).

1456. Si chiama *campo* d' un cannocchiale l' estensione dello spazio che per esso l' occhio può abbracciare. Nel cannocchiale astronomico la grandezza del campo dipende dalla larghezza dell' oculare; ma in quello di Galileo esso è determinato dalla larghezza della pupilla, perchè i pennelli di luce *s'b'*, *t'a'* che escono dall' oculare, e che contengono fra se gli altri tramandati dall' oggetto, allontanandosi vanno a passare vicino agli orli della pupilla, mentre nel cannocchiale astronomico i pennelli partono dagli orli dell' oculare in direzioni convergenti; per andar quindi a incrociarsi nella pupilla: dunque il cannocchiale di Galileo ha un campo minore, che lo rende d' un uso meno comodo.

Cannocchiali a quattro lenti.

1457. Si possono addirizzare gli oggetti visti per mezzo del cannocchiale astronomico, aggiungendo due altre lenti disposte in modo, che i fuochi delle lenti vicine si confondano sempre in un punto comune. Queste lenti si chiamano *oculari*, come quella che è vicina all'occhio. Solamente col guardare la *fig.* 145 si scorgono gli effetti di questo cannocchiale. I raggi *eb*, *da*, ec. che formano l' immagine *ab* dietro all'obbiettivo *gh*, dopo esser penetrati nella seconda lente *il*, si incrociano nel fuoco comune *c* di questa e della seguente *ts*; passano a traverso di questa terza lente, al di là della quale vanno a formare un' altra immagine *a'b'*, che è rovesciata relativamente alla precedente, e finalmente vanno all' oculare *kn*, che li rende convergenti verso il centro O della pupilla.

1458. Quanto son più lontani gli oggetti che si guardano con questa specie di cannocchiale, tanto più l' osservatore deve raccorciarlo, per conservare alla visione lo stesso grado di purità, e a questo fine fa muovere un tubo in cui son posti gli oculari *kn*, *ts*, *il*, in modo che l' ultimo si avvicini all' obbiettivo *gh*. E se al contrario gli oggetti sono a minor distanza, si allunga il cannocchiale per mezzo d' un moto contrario, con cui l' oculare *il* viene allontanato dall' obbiettivo *gh*.

Per comprendere la ragione di questi moti, supponiamo primieramente l' oggetto a tal distanza, che il corso dei raggi essendo quello rappresentato dalla figura, tutto sia disposto nel modo più favorevole per la purità della visione. Figuriamoci quindi che lo spettatore vada a

(*a*) Smith, *Traité d'Optique*, p. 79.

situarsi più lontano dall' oggetto. I raggi partiti dal punto R, che prendiamo per esempio, formeranno dietro all' obbiettivo il loro fuoco al di qua del punto *r* (§. 1043); dunque perchè questo cambiamento di posto del fuoco non alteri la visione, bisognerà che gli oculari si avanzino tanto verso l' obbiettivo quanto si è avvicinato ad esso il fuoco *r*: il qual fuoco trovandosi allora nella stessa situazione di prima, relativamente agli oculari, i raggi che esso manda a quelli gli attraverseranno, e arriveranno all' occhio nell' ordine stesso.

Se supponiamo al contrario che lo spettatore si avvicini all' oggetto, il fuoco che era in *r* si situerà più lungi dall' obbiettivo, e bisognerà che gli oculari ancora se ne allontanino altrettanto, affinchè l' occhio prosegua a vedere distintamente l' immagine dell' oggetto.

1459. Quelli che per la prima volta guardano gli oggetti a traverso del cannocchiale, si maravigliano di non vederli d' una grandezza smisurata come si erano immaginati. Infatti, se guardiamo col cannocchiale un uomo situato a gran distanza, lo strumento ce lo fa giudicare più vicino, e ce ne fa scorgere distintamente e chiaramente le parti: in quanto però alla grandezza, è vero che esso comparisce più grande che visto a occhio nudo da egual lontananza, ma non molto più grande del naturale, visto a una distanza ordinaria.

Per analizzar quest' azione del cannocchiale, bisogna primieramente osservare che l' oggetto immediato della visione è in questo caso l' immagine $a'b'$ formata dietro all' oculare, e che è molto minore dell' oggetto reale, e nel tempo stesso vicinissima all' occhio. Ma l' oculare produce qui due effetti: da una parte i raggi di ciascuno dei coni tramandati dalle estremità $a'b'$, che consideriamo per esempio, escono da questa lente divergendo alquanto, cioè come se partissero da un oggetto molto più lontano dell' immagine, ma molto meno dell' oggetto reale. Dall' altra parte questi coni dopo la loro emergenza divengono convergenti, formando un angolo molto maggiore di quello sotto il quale l' occhio con la semplice vista vedrebbe l' uomo verso il quale è diretto il cannocchiale; e finalmente è tale l' abbondanza dei raggi che compongono questi medesimi coni, che l' immagine che essi presentano invece di quella dell' oggetto reale, si dipinge distintamente sulla retina.

Da quanto abbiamo detto resulta, che il cannocchiale produce in noi un' illusione, la quale tende a farci credere che l' oggetto stesso si sia avvicinato al nostro occhio, in modo da poter esser veduto con visione ordinaria. La diminuzione apparente di distanza, egualmente che l' aumento di chiarezza, divien sensibilissimo per noi, come accaderebbe nel caso d' un vero avvicinamento; e in quanto alla grandezza giudica-

ta, quantunque essa si trovi parimente accresciuta, relativamente a quella dell'oggetto visto in lontananza, questo accrescimento non ha nulla di straordinario, perchè l'uomo, che è il soggetto supposto dell'esperienza, non ci sarebbe parso un gigante, se con un moto improvviso si fosse avanzato verso di noi.

Aberrazione di sfericità.

1460. Gli stromenti sopra descritti, e in generale tutti quelli conosciuti sotto il nome di telescopii diottrici, hanno due difetti notabilissimi, i quali impediscono che le immagini sieno perfettamente distinte e finite.

Il primo, che si chiama *aberrazione di sfericità*, deriva dalla figura sferica delle lenti, in virtù della quale i soli raggi vicinissimi all'asse, e non altri, concorrono sensibilmente in un punto comune; poichè i più lontani essendo maggiormente refratti, tagliano l'asse al di qua del punto medesimo, sicchè il fuoco è realmente uno spazio d'una certa estensione. Quindi è che l'immagine principale, o quella che vien prodotta nel punto in cui si riunisce il maggior numero di raggi, è come offuscata da una moltitudine d'altre immagini, che rendon confusa la visione.

1461. Il mezzo più semplice che sia stato trovato fin qui per rimediare a questo inconveniente, è lo scemare la superficie dell'obbiettivo. L'estensione di questa superficie e ciò che si chiama l'*apertura* del telescopio, e si misura dal numero di gradi contenuti nell'arco che passa per due punti opposti dell'orlo circolare della stessa superficie, per il punto in cui la incontra l'asse dell'obbiettivo. Ristringendo l'apertura, vengono ad essere intercettati i raggi che cadono a una certa distanza dall'asse, e che confonderebbero la visione.

Aberrazione di refrangibilità.

1462. Il citato difetto fu per lungo tempo riguardato come il solo che si opponesse alla perfezione dei telescopii; ma assai più nocivo alla purità delle immagini è quello che deriva dalla diversa refrangibilità dei raggi diversamente colorati.

Per ben intendere in che consista questo difetto, osserviamo che la superficie di una lente, non è altro che la riunione d'un' infinità di piccoli piani, due dei quali presi da due parti opposte si riguardano come appartenenti a due facce d'un prisma, purchè non sieno nelle situazioni in cui le tangenti son parallele. Ora fra i raggi d'un medesimo fascio,

che formano un fuoco dietro a una lente non v'è che l'asse il quale esca parallelamente a se stesso; e tutti gli altri escono da faccette che hanno un' inclinazione, relativamente a quelle per le quali essi erano entrati. Dunque una lente fa soffrire alla luce una scomposizione analoga a quella che accade per mezzo d' un prisma. Per maggior semplicità supponiamo, che una fascin di raggi paralleli incontri una lente in direzioni che sieno pur parallele all' asse della medesima. I raggi dopo esser ripassati nell' aria, anderanno a formare lungo l' asse una serie di fuochi, fra i quali il più vicino alla lente sarà quello dei raggi violetti, che sono i più refrangibili, e il più lontano sarà quello dei raggi rossi, che sono i meno refrangibili; gli altri fuochi saranno situati fra i precedenti, secondo l' ordine del loro grado di refrangibilità. Lo stesso accade relativamente a un fascio, che fa la sua incidenza in qualunque direzione.

1463. L' effetto della citata decomposizione esercita la sua influenza sulla visione per mezzo dei cannocchiali e dei telescopii ordinarii. I raggi diversamente colorati che formano i pennelli tramandati dai varii punti dell' oggetto, essendo svincolati gli uni dagli altri nell' escire dall' obbiettivo, producono dietro a questo un' immagine alterata dalla diffusione dei fuochi; e i raggi che escono dall' oculare trasportano quest' immagine nel fondo dell' occhio, con tutte le sue cause d' imperfezione. I colori prodotti dalla luce decomposta spariscono verso il mezzo dell' immagine, in cui i raggi con la lor mescolanza ricompongono il bianco; ma divengono poi sensibili avvicinandosi agli orli, e vi fanno scorgere quelle frange a più colori che sfigurano le immagini, e impediscono che esse si presentino finite all' occhio. Questo difetto è stato chiamato *aberrazione di refrangibilità.*

Telescopio Newtoniano.

1464. Newton che con le sue scoperte sui colori aveva rilevato e reso noto il difetto dell' aberrazione di refrangibilità, conoscendo quanto esso era nocivo alla perfezione dei telescopii diottrici, specialmente se si volessero raccorciare questi strumenti per renderli d' un uso più comodo, pronunziò il giudizio, che la costruzione d' un telescopio di questo genere, di mediocre lunghezza, e che presentasse le immagini con una chiarezza sufficiente, era un *affare disperato* (*a*).

In questa persuasione egli si rivolse alla reflessione, e pensò di sostituire all' obbiettivo uno specchio concavo di metallo. Lo strumento che egli costruì con questo principio è conosciuto sotto il nome di *telescopio Newtoniano*, del quale daremo ora un' idea.

(*a*) *Newton, Optice, lib. I, pars.* 1, *propos.* 7.

1465. Sia AB (*fig.* 146) l'immagine d'un oggetto lontano, prodotta per mezzo d'uno specchio concavo MVN, in modo che SMA, TGA rappresentino i raggi estremi del pennello tramandato dal punto dell'oggetto a cui corrisponde il punto A dell'immagine. Se si volesse far passare immediatamente questa immagine a traverso d'un oculare, se ne intercetterebbe una parte; dunque si impedirà questo inconveniente, voltando da altra parte questa immagine per mezzo d'nn piccolo specchio piann *de* inclinato 45° sull'asse HV dello specchio concavo, dal che resulta una seconda immagine *ab*, che diviene l'oggetto della visione. I raggi *ar*, *az* passano a traverso dell'oculare *kn*, il quale come si vede è situato per parte; e dopo essersi refratti nel ripassare nel l'aria, nelle direzioni *uy*, *qh* quasi parallele, si dirigono versn l'occhio situato in O, e gli fanno vedere l'immagine ingrandita sotto l'angolo *q*O*x*, la qual immagine è rovesciata in virtù delle proprietà dello specchio concavo, che già indicammo (§ 1293). Queste specie di strumenti sono stati chiamati in generale *Telescopii catadiottrici*, perchè riuniscono gli effetti combinati della reflessione e della refrazione.

1466. Newton era stato preceduto qualche anno prima, relativamente all'idea d'un telescopio costruito secondo questo metodo, da Giacomo Gregori, il quale nella sua *Optica promota* dette la descrizione di quello che egli stesso aveva immaginato. Si servì di due specchi curvilinei, uno parabolico, e l'altro ellittico; ma per la difficoltà di eseguire specchi di tal figura, è stata invece adottata la figura sferica: il maggiore è postn in fondo al telescopio come in quello di Newton, e l'altro, che è piccolissimo, è situato con la sua parte concava voltata verso il primo. L'immagine formata per reflessione sullo specchio maggiore, è ricevuta dal minore, il quale pure la reflette. Si pongono due oculari dietro allo specchio maggiore, che è forato nel mezzo circolarmente, per il qual foro passa l'immagine tramandata dal minore. Il primo oculare produce una nuova immagine, da cui partono i raggi che escendo dal secondo oculare in direzioui parallele, vanno a riunirsi nell'occhio.

Questo telescopio presenta gli oggetti diritti, e per questa ragione appunto è più adattato di quello di Newton all'osservazione degli oggetti terrestri; ma gli è però inferiore, tanto in quanto alla chiarezza, perchè la luce deve attraversare un vetro di più, quanto per la perfezione dell'immagine, perchè il secondo specchio, che è concavo come il primo, rende anco maggiori le piccole alterazioni inseparabili dalla reflessione che accade su queste specie di specchi. Dopo tutto questo la costruzione dei telescopii catadiottrici richiedeva infinite precauzioni delicatissime, e bisognava perdere moltissimo tempo, e far moltissimi tentativi per dirigerli verso l'oggetto che si voleva osservare.

Scoperta dei cannocchiali acromatici.

1467. Tale era lo stato della Diottrica, quando nel 1747 Eulero riflettendo sulla struttura dell'occhio, concepì un'idea da cui derivarono i più considerevoli vantaggi per il progresso di questa scienza. Osservò primieramente, che quando noi guardiamo gli oggetti a occhio nudo, le loro immagini non sono alterate da alcuna mescolanza di colori estranei; e che ciò accade soltanto quando immagini prodotte dalla refrazione, a traverso di una lente, e già tinte di colori prismatici, divengono l'oggetto immediato della visione. Da ciò concludeva Eulero, che l'occhio aveva tutte le proprietà d'uno strumento capace di fare sparire l'aberrazione di refrangibilità; non dubitò che i varii umori di questo organo non fossero disposti in modo che non ne resultasse veruna diffusione di fuochi, e giudicò che prendendolo per modello, e combinando in un certo modo varii mezzi di densità diverse, si giungerebbe a costruir telescopii, per mezzo dei quali le immagini avrebbero la stessa perfezione di quelle che ci si presentano, quando per vedere gli oggetti non ci serviamo che dell'occhio.

1468. Partendo da questa idea Eulero cercò quali dimensioni dovrebbero avere obbiettivi composti di vetro e d'acqua, per imitare la combinazione che ha luogo naturalmente per l'occhio; ma Dollond, dottissimo ottico inglese, non volle adottare queste dimensioni, perchè fondate sopra una legge di refrazione, della verità della quale egli dubitava (*a*), e tentò di far uso d'una legge diversa, con la quale però non ottenne l'intento. Nella discussione in cui si impegnarono quei due fisici, Eulero insisteva sempre sulla possibilità di annullare la diffusione del fuoco nel modo da lui indicato; e Dollond dall'altra parte aveva terminato col riguardare la cosa come assolutamente impraticabile, e col nome e con l'autorità di Newton ribatteva tutte le ragioni che gli venivano opposte.

1469. Ciò che rendeva questo celebre artista sì fermo nella sua opinione era il resultamento d'un'esperienza di Newton, che già indicammo in altro luogo (§. 1312), e che era ben difficile supporre che non fosse ben riuscito a lui che abitualmente interrogava con tanta accortezza la natura.

Avendo egli fatto passare un fascio di luce a traverso di due mezzi contigui, di densità diversa, cioè acqua e vetro, credè d'osservare che quando le due superficie, una delle quali riceveva i raggi incidenti, e

(*a*) Smith, *Traité d'Optique*, p. 384, n. 661.

per l'altra passavano i raggi emergenti, si trovavano disposte in modo che la luce venisse raddrizzata da refrazioni contrarie, sicchè i raggi emergenti divenissero paralleli agl' incidenti, la luce stessa esciva sempre bianca. Al contrario se i raggi emergenti erano inclinati sugl' incidenti, la bianchezza della luce si colorava verso le sue estremità, a misura che si allontanava dal punto d'emergenza (*a*).

1470. Ecco ora la conseguenza alla quale conduceva questo resultamento, che Newton estendeva per analogia a tutte le specie di mezzi. Gli obbiettivi che si impiegano nella costruzione dei telescopii, non producono le immagini che divengono gli oggetti della visione (§. 1453), per un occhio situato dietro all'oculare, se non in quanto che la refrazione a traverso di questi obbiettivi allontana i raggi emergenti, relativi a ciascun pennello di luce, dal parallelismo coi raggi incidenti. Dunque poichè nel caso in cui non esiste più questo parallelismo, non si può impedire che i colori contenuti nella luce non si separino, neppur quando si combinano sostanze diversamente refrattive, è impossibile conciliare la distruzione delle frange a più colori che si formano sugli orli delle immagini, con l'effetto della refrazione, per produrre queste immagini medesime. Questa conseguenza apparirà ancor più chiara dopo le minute spiegazioni che daremo fra poco.

La persuasione che Newton avesse fatta la sua esperienza con la sua solita esattezza, le ricerche di Clairaut, che avendo esaminata la legge proposta da Eulero, aveva trovato che non reggeva alla prova del calcolo, tutto faceva credere che nè la Scienza nè l'Arte potevano oltrepassare il limite segnato da Newton.

1471. Frattanto nel 1755 Kligenstiern, professore di matematiche a Upsal, mandò a Dollond uno scritto, in cui egli si opponeva all'esperienza di Newton con la metafisica e con la geometria, ma in un modo tanto imponente da costringere Dollond a dubitare della verità di questa esperienza, il quale finalmente ardì ripeterla, e la trovò falsa. Unì due lastre di vetro per due dei loro orli, in modo che poteva far variare a piacere l'angolo che esse facevano fra loro, e quindi empì d'acqua lo spazio intermedio: in quest'acqua immerse un prisma di vetro con l'angolo voltato in alto, cioè all'opposto dell'angolo formato dalle due lastre di vetro. Inclinò quindi queste lastre a diversi angoli, finchè gli oggetti veduti a traverso di questo doppio prisma comparissero sensibilmente a quell'altezza a cui sarebbero comparsi alla semplice vista. Allora egli era sicurissimo che le refrazioni si distruggevano scambievolmente, cioè i raggi emergenti erano paralleli ai raggi incidenti. Ma in questo caso an-

(*a*) *Opticè lucis, lib.* I, 2, *pars exper.* 8.

cora le immagini erano tinte dei colori dell' iride: e se quindi si muovevano di nuovo le lastre di vetro fino a un certo grado d'inclinazione, spariva ogni iride; ma gli oggetti non comparivano più alla stessa altezza che quando si guardavano immediatamente, e così era annullata l'aberrazione della refrangibilità senza che si correggessero fra loro le refrazioni (*a*).

Questa esperienza decise la qnestione. Si cercarono sostanze, la combinazione delle quali fosse capace di distruggere la diffusione dei fuochi, lasciando sussistere la maggior possibile quantità di refrazione. Alcuni dotti geometri si occnparono nel determinare le curve più vantaggiose, relativamente agli obbiettivi composti di varii mezzi, e da tutte queste ricerche resultò la costruzione dei cannocchiali *acromatici*, cioè di quelli che fanno vedere le immagini distinte e finite, e libere da ogni frangia tinta di colori che non appartengono ad esse. Esponiamo dunque con la maggior chiarezza possibile i principii sui quali è fondata questa costruzione.

Teoria dei cannocchiali acromatici.

1472. Vedemmo altrove (§. 1106), che Newton aveva determinate immediatamente le differenze fra i seni di refrazione dei raggi diversamente colorati che compongono la luce, per il caso in cni il passaggio accade dal vetro nell'aria, e che aveva trovato che la legge di queste differenze era eguale a quella che rappresenta le sette note della nostra scala musicale, relativa al tuono minore. Prendiamo un prisma di qnalunque materia fuorchè di vetro, e supponiamola per esempio più densa di questo. Se le circostnaze sieno le medesime, cioè se i due angoli refrattivi sono eguali, e i raggi incidenti egualmente inclinati sulle superficie refrattive, questi raggi si ripiegheranno in generale ad angoli maggiori nel secondo prisma, e quindi il fascio nell'escire dal prisma si dilaterà maggiormente. Supponiamo inoltre che le refrazioni parziali seguano fra loro una stessa legge relativamente a qualunque specie di sostanze, cioè quella legge che è rappresentata dalla nostra scala musicale. Se per termine di comparazione si prenda la refrazione del raggio che occupa il mezzo dello spettro solare, e che può riguardarsi come l'asse del fascio dilatato, è chiaro che la quantità totale della dilatazione, seguirà, per queste diverse sostanze lo stesso rapporto che la refrazione del raggio suddetto; dimanierachè se qnesta è, per esempio, tripla nel secondo prisma, il fa-

(*a*) Smith, *Traité d'Optique*, p. 383, nota 658 e seg.

scio che ne esce si troverà dilatato ad un angolo proporzionatamente maggiore. La refrazione di questo raggio che occupa il mezzo dello spettro, è ciò che si chiama *refrazione media*, e la quantità della dilatazione, o l'eccesso della refrazione del raggio violetto su quella del raggio rosso si chiama *dispersione*.

Supponendo sempre che la refrazione media sia proporzionale alla dispersione, non si potrebbe mai distruggere l'effetto della dispersione stessa, combinando più mezzi, senza che si annullasse nel tempo medesimo l'effetto della refrazione media; poichè la compensazione che esisterebbe relativamente all'asse del fascio, si estenderebbe del pari a tutti gli altri raggi che escissero egualmente paralleli alle lor prime direzioni. Era questa la conseguenza che derivava dall'esperienza di Newton, dedotta già da lui stesso.

Ma in sostanza non è poi vera una tal conseguenza, e la legge che seguono le refrazioni dei raggi diversamente colorati, varia al variare della natura dei mezzi, ossia, nei differenti mezzi la dispersione non è proporzionata alla refrazione media; sicchè può accadere, per esempio, che un mezzo il quale avesse una refrazione media, soltanto un poco maggiore di quella d'un altro mezzo, facesse soffrire ai raggi della luce una più considerevole dispersione.

1473. Ciò premesso, figuriamoci primieramente due prismi eguali e simili della stessa materia, applicati uno all'altro in modo, che i loro angoli refrattivi si trovino voltati in parti opposte; e se *acb*, *cyb* (*fig.* 147) sieno le sezioni di due prismi dirette perpendicolarmente all'asse, *c* e *b* saranno gli angoli refrattivi. Ora, è chiaro in questo caso, che un fascio di luce *de* il quale incontra la superficie *ca*, con un'obliquità qualunque, dopo essersi dilatato nel passare a traverso dei due prismi, escirà in modo che i diversi raggi emergenti *ks*, *rq*, *tu*, saranno paralleli al raggio incidente *de*, poichè ancora *by* è parallelo a *ca*.

Figuriamoci ora che il prisma *cby*, essendo d'una natura diversa da quella del prisma *acb*, abbia una refrazione media solamente un poco maggiore, e che nel tempo stesso la dispersione che egli fa soffrire ai raggi sia in proporzione molto più considerevole: in tal caso l'asse *rq* del fascio emergente non sarà più diretto dalla refrazione media parallelamente a *de*, e in conseguenza l'immagine del punto *d* sarà un poco trasportata fuori del suo posto. Inoltre i raggi estremi *ks*, *tu* acquisteranno una divergenza maggiore di quella che misura il trasporto dell'immagine dal punto *d*. Se allora si faccia variare l'angolo *cby* fino al punto in cui questa immagine sia tornata nel suo posto, e in cui per conseguenza sia distrutto l'effetto della refrazione media, è chiaro che la dispersione sarà sempre molto notabile. Finalmente se si prosegua a

far variare il medesimo angolo finchè sia nullo l'effetto della dispersione, la refrazione media comparirà di nuovo, e l'immagine del punto d sarà nuovamente trasportata fuori del suo posto; cioè da una parte la luce sarà ricomposta, e dall'altra parte i raggi emergenti si allontaneranno dal parallelismo con gl' incidenti.

1474. Supponiamo che al (*fig.* 148) rappresenti un filo di luce partito da un punto visibile, situato a una grandissima distanza sull' asse AR della lente mn, in modo che possa riguardarsi come parallelo a questo asse (*a*). Figuriamoci inoltre che questo filo non sia composto che di soli due raggi, uno rosso, e l'altro violetto: in tal caso si refrangeranno ambedue nella lente, avvicinandosi alla perpendicolare pls nel punto d'immersione. Ma la direzione lk del raggio violetto, la refrangibilità del quale è più considerevole, farà con la perpendicolare un angolo minore di quello che faccia la direzione lg del raggio rosso; e quindi il primo sarà inclinato verso l'asse più del secondo.

Se ora le due perpendicolari qi, be, relative all'incidenza dei raggi sulla superficie mhn, fossero parallele, l'angolo d'incidenza lkb del raggio violetto essendo maggiore dell'angolo d'incidenza lkq del raggio rosso, questa sola circostanza, a refrangibilità eguale, farebbe sì che il raggio violetto ripasserebbe nell'aria con una direzione, che divergerebbe relativamente a quella del raggio rosso, e così il primo anderebbe ad incontrar l'asse a una distanza dalla lente, minore di quella del secondo. Ma quantunque la direzione della perpendicolare be, che con la sua estremità superiore si piega alquanto verso la perpendicolare qi, tenda a scemare l'angolo d'incidenza lkb, e però ancora l'angolo di refrazione ekf, poichè il raggio violetto è più refrangibile del raggio rosso, e dall'altro canto esso parte da un punto k più vicino all'asse del punto g che appartiene al raggio rosso, ne resulta sempre, che il suo punto d'intersezione f con l'asse è più vicino alla lente del punto f, in cui accade l'incontro del raggio rosso col medesimo asse (*b*).

(*a*) Bisogna nel tempo stesso figurarsi questo filo vicinissimo all'asse, dal quale è stato qui separato con un intervallo sensibile, solo per la maggior distinzione della figura.

(*b*) La formula che dà la distanza z fra il fuoco e la lente, è in generale $z = \frac{ma}{2(1-m)}$, come già vedemmo (1041), dove m è il seno di refrazione, quando il seno d'incidenza è l'unità. Figuriamoci che questa formula si riferisca alla refrazione del raggio rosso, e quella che è relativa alla refrazione del raggio violetto sia $z' = \frac{m'a}{2(1-m')}$. In questa ipotesi, poichè m, m' sono i seni di refrazione nel passaggio dell'aria nel vetro, è chiaro che m' sarà minore di m, perchè allora il raggio violetto, a incidenza eguale, si avvicina

Se si suppongono altri raggi di ciascuna specie, i quali andando dal punto raggiante verso la lente, passino egualmente vicinissimi all'asse, tutti i raggi violetti emergenti formeranno un fuoco in f, e i raggi rossi ne formeranno un altro in f'. Tale sarà l'effetto della dispersione relativamente alla lente ma.

1475. Se dietro a questa lente vi sia un'altra lente biconcava $mnxz$ (*fig.* 149), che abbia una refrazione media un poco maggiore di quella della prima lente, e una dispersione proporzionatamente più considerevole, il raggio rosso lg si retrangerà di nuovo nella lente biconcava in una direzione gt; e poichè la gran dispersione di questa lente rende la refrazione del raggio violetto, relativamente a quella del raggio rosso, molto maggiore di quella che era nella lente prima, il raggio violetto entrando nella lente biconcava si avvicinerà talmente alla perpendicolare bpe, che la sua nuova direzione pd anderà ad incrociare in un punto us la direzione gt del raggio rosso. Quindi è che l'angolo d'incidenza pdr del raggio violetto, nell'incontro della superficie zx, sarà minore dell'angolo d'incidenza gto del raggio rosso. Ma il raggio violetto, in conseguenza della sua maggior refrazione, ripasserà nell'aria in una direzione df situata in modo, che l'angolo che essa formerà con la perpendicolare rh, riguadagnerà sull'angolo della direzione tf del raggio rosso con la perpendicolare oy, ciò che sarà necessario perchè le due direzioni vadano a riunirsi in un punto comune f. Tutti i raggi di ciascuna delle due specie che partiranno dallo stesso punto visibile in direzioni vicinissime all'asse, si incroceranno del pari nel fuoco f, in cui produrranno un'immagine unica del punto visibile, e di là proseguiranno il loro corso dirigendosi verso l'occhio.

1476. Paragonando dunque l'effetto prodotto da queste due lenti, relativamente alla correzione dell'aberrazione di refrangibilità, con quello prodotto dai due prismi applicati uno all'altro per una delle loro facce (§. 1473), si rileva che le figure curvilinee delle lenti fanno sì che i raggi emergenti si confondono in uno stesso punto, mentre i raggi che escono dai prismi son paralleli fra loro come prima d'entrarvi,

alla perpendicolare nel punto d'immersione più del raggio rosso; dunque il numeratore $m'a$ sarà minore del numeratore ma: dall'altra parte il denominatore $2(1-m')$ sarà maggiore del denominatore $2(1-m)$, poichè qui la quantità m o m' è sottratta. Da ciò segue che la frazione $\frac{m'a}{2(1-m')}$ sarà minore della frazione $\frac{ma}{2(1-m)}$, cioè il fuoco z' dei raggi violetti sarà avvicinato alla lente del fuoco z più dei raggi rossi.

e ciò a motivo delle superficie piane presentate loro dai mezzi che debbono attraversare.

Se il potere dispersivo della lente biconcava variasse nello stesso rapporto della sua refrazione media, il raggio rosso e il raggio violetto non potendo incrociarsi nella medesima lente, dopo la loro emergenza non concorrerebbero mai in un fuoco comune. Che se tutti i raggi di ciascuna specie, partiti da uno stesso punto dell'oggetto, nel ripassare nell'aria prendessero direzioni inclinate a quelle dei raggi incidenti, per ripiegarsi verso l'asse, formerebbero due fuochi distinti, come quando attraversano una lente sola mn (*fig.* 148); cioè sussistendo tuttora la refrazione media necessaria alla produzione delle immagini, la dispersione non sarebbe distrutta. E se la curva della lente fosse tale da fare sparire l'effetto della dispersione, ciò non potrebbe accadere senza che i raggi emergenti di ambedue le specie fossero paralleli ai raggi incidenti: e perchè questi con la loro riunione formano un solo cono, si riguarderebbe questo cono come prolungato al di là della lente biconcava, astraendo dalla piccola deviazione prodotta della grossezza delle lenti. In tal caso non esisterebbe più verun fuoco, e quindi neppure veruna immagine, e non resulterebbe nessun vantaggio da un tale assortimento di lenti poste fra l'occhio e l'oggetto.

1477. Da quanto abbiamo detto apparisce, che a tutto rigore il fuoco f (*fig.* 149) non è che il punto di riunione dei raggi estremi, cioè dei rossi e dei violetti, ai quali bisogna aggiungere i raggi medii, che sono i verdi, e che formano in certo modo l'asse del cono che ha il vertice nel fuoco stesso. Ma le piccole aberrazioni che esiston tuttora nei raggi intermedii, sono in qualche modo coperte dalla coincidenza perfetta dei raggi estremi.

1478. Gli obbiettivi dei cannocchiali acromatici son composti di due sostanze; una è il *flint-glass*, che è una specie di vetro che contiene circa un terzo di *minio*, o ossido rosso di piombo; l'altra è il *crown-glass*, che è della natura del vetro comune da finestre. È stato osservato che la dispersione prodotta dal flint-glass era maggiore di quella prodotta dal crown-glass nel rapporto di 3 a 2, mentre la sua refrazione media era poco maggiore di quella del vetro (*a*). In molti cannocchiali acromatici l'obbiettivo è formato semplicemente di due lenti, una biconcava, oppure convessa da una parte e concava dall'altra, che è di flint glass; l'altra biconvessa, che è di crown-glass, e che con

(*a*) Secondo le esperienze di Clairaut, il rapporto di refrazione per il raggio medio è, nel flint-glass, di 1, 6 : 1, e nel vetro comune è di 1, 55 : 1. Smith, *Traité d'Optique* p. 447.

una delle sue convessità si incastra nella concavità dell'altra. In altri cannocchiali l'obbiettivo è composto di una lente biconcava di flint-glass, posta fra due lenti biconvesse di crown-glass; e questi cannocchiali son più perfetti dei precedenti.

1479. Con la costruzione da noi indicata non si corregge l'aberrazione di refrangibilità se non in quanto all'obbiettivo, sussistendo sempre quella che deriva dall'oculare; ma questa può assolutamente trascurarsi, perchè è brevissimo il cammino che per arrivare all'occhio debbon percorrere i raggi che escono dalla lente, e quindi non può essere che piccolissima la loro separazione.

Microscopio a due lenti.

1480. Dopo aver parlato degli strumenti che aiutano l' occhio a vedere a traverso d'immense distanze, parliamo ora di quelli che per l'occhio stesso danno grandezza agli atomi. Il microscopio a due lenti ha molta analogia col telescopio astronomico (§. 1454). L'obbiettivo *gh* (*fig.* 150) è piccolissimo e moltissimo convesso: si pone l'oggetto *ab* un poco più lontano del fuoco di questa lente, dal che nasce che i raggi di ciascuno dei fasci che vanno da *a* in *a'*, e da *b* in *b'*, i quali raggi escirebbero paralleli se l'oggetto fosse esattamente nel fuoco, non inclinano se non pochissimo uno verso l'altro; sicchè essi formano un'immagine rovesciata *a' b'* dell'oggetto, a una gran distanza dall'obbiettivo, e che in conseguenza apparisce già molto più estesa di questo oggetto. L'oculare *kn* è situato in modo, che il suo fuoco si combina presso a poco col punto di mezzo *x* dell'immagine *a'b'*, e così i raggi *lo*, *sy* da una parte, e *ty*, *ro* dall'altra, essendo pochissimo divergenti, e inoltre i due pennelli ai quali appartengono questi raggi, acquistando al contrario una convergenza notabile, l'occhio situato in *o* vedrà l' oggetto in *a'' b''* moltissimo ingrandito per due ragioni diverse.

Infatti l'immagine *a'b'*, se l'occhio potesse riceverne immediatamente l'impressione, sembrerebbe già sensibilmente più grande dell'oggetto *ab*. Ma quest'immagine diviene essa medesima l'oggetto che l' occhio scorge a traverso dell'oculare, il quale facendo qui le veci di una fortissima lente, l'angolo *rol* sotto il quale l'occhio vedrà distintamente questo medesimo oggetto in *a''b''*, sarà molto maggiore di quello sotto il quale lo vedrebbe egualmente distinto, senza alcun intermedio. Dunque crescerà in un grandissimo rapporto l'ingrandimento dell'immagine perchè ciò nasce dalla combinazione di due effetti, ognuno dei quali tende per se stesso ad accrescere sensibilmente le sue

dimensioni. Si fanno ancora i microscopii a tre lenti, ai quali facilmente si applica la spiegazione precedente.

1481. Questi ammirabili strumenti hanno per così dire raddoppiato l'universo al nostro sguardo; ci hanno fatto rilevare in gocce quasi impercettibili di diversi liquidi, una moltitudine d'animali fin allora ignoti, e ci hanno svelati infiniti misteri dell'organizzazione delle piante. Certi piccoli corpi in apparenza informi, per mezzo del microscopio ci compariscono di figura regolare; le polveri che compongono il grano della malva divengono globetti sparsi di punte; quelle che son portate dagli stami sui pistilli delle diverse piante, compariscono egualmente di forme simmetriche e costanti in ciascuna specie; le minime parti degl'insetti presentano riunioni di pezzi assortiti fra loro con un'arte, di cui la nostra non è che un'imitazione grossolana; e tutto ciò che l'occhio esamina, benchè visto altre volte, gli è forse tanto nuovo quanto ciò che non ha veduto giammai.

DESCRIZIONE DI ALCUNI STRUMENTI PARTICOLARI DI DIOTTRICA.

Gli strumenti che descriveremo in questo articolo, servono a rappresentare immagini da vedersi sopra superficie piane disposte per riceverle.

Camera ottica.

1482. Se in una stanza perfettamente chiusa, si faccia in un'imposta di finestra un foro di circa 27 millimetri, ossia un pollice, di diametro, la luce che per esso si introduce nella stanza, disegna sul muro le immagini degli oggetti esterni, i contorni delle quali non sono che abbozzati, e sembrano ombre leggiere. Questa osservazione ha suggerito l'idea di uno strumento di ottica, chiamato *camera oscura* o *camera nera* o *camera ottica.* In vece di lasciar libera l'apertura per la quale entra la luce, vi si applica una piccola lente, che obbliga i varii pennelli tramandati dagli oggetti esterni a formare altrettanti fuochi dietro ad essa; e alla distanza di questi fuochi si pone un cartone bianco, sul quale si dipingono distinte e colorate le immagini.

1483. L'andamento dei raggi che producono queste immagini è quello stesso che si osserva nella *fig.* 136, in cui AB rappresenta l'oggetto, *mn* la lente, e *ab* l'immagine che si dipinge sul cartone: questa è rovesciata, perchè i pennelli di luce si incrociano nell'attraversare la lente. L'osservatore però può raddrizzare l'immagine guardandola per reflessione in uno specchio situato orizzontalmente o quasi orizzontal-

mente. Se la finestra è sopra una strada frequentata, si vedrà un quadro in moto, ove tutti gli oggetti saranno dipinti al naturale, o piuttosto si vedrà una successione di quadri piacevolmente variati.

1484. È chiaro che quanto gli oggetti son più lontani, tanto più piccole sono le loro immagini, poichè l'angolo che fanno fra loro i raggi Ac, *Bd*, che partono dalle estremità di questi oggetti, scema continuamente al crescere della distanza; dal che resulta una diminuzione proporzionata nell'angolo formato dai raggi *fb*, *ha*, fra i quali è compresa l'immagine. Nel tempo stesso il fuoco *r* formato dietro alla lente dai raggi tramandati dal punto R che prendiamo per esempio, si avvicina alla lente stessa, e allora l'immagine di questo punto divien la base d'un cono che resulta dal prolungamento dei medesimi raggi al di là del fuoco. Ma può distruggersi questo effetto, allontanando un poco la lente dal fondo della camera ottica, per accrescere la divergenza dei raggi R*e*, R*l* che cadono sul piccolo spazio *el* (§. 1043), e farli riunire dietro alla lente a una maggior distanza da essa. Nel caso contrario, cioè quando gli oggetti son troppo vicini, relativamente alla situazione della lente, il fondo della camera ottica taglia il cono al di qua del suo vertice, e l'immagine del punto R prende tuttavia la forma circolare che si riduce in fine ad un sol punto, avvicinando la lente al quadro.

1485. Si fanno ancora camere ottiche portatili, le quali sono una specie di cassette quadrate, a una faccia laterale delle quali è adattato un tubo guarnito della sua lente Le immagini che si formano nell'interno son ricevute da uno specchio piano inclinato, che le reflette verso la parte superiore della cassetta, dove esse divengono visibili sopra un vetro che ha la superficie esterna appannata, e che serve di coperchio alla cassetta medesima. Queste immagini son rette per uno spettatore che ha la faccia voltata verso gli oggetti. In molti modi è stata variata la costruzione di questo strumento: per esempio si forma a guisa di piramide, alla parte superiore della quale è adattato il tubo con la sua lente, il quale in questo caso è in situazione orizzontale. Lo specchio è disposto superiormente, e sempre in una situazione inclinata, la quale perchè sia la più vantaggiosa deve fare con l'orizzonte un angolo di 45°. In questa costruzione è lo specchio che riceve i raggi partiti immediatamente dagli oggetti, mentre nella costruzione precedente i raggi vanno dalla lente allo specchio. Le immagini si dipingono sopra una carta bianca, posta orizzontalmente nel fondo della camera ottica, e si vedono per mezzo di una larga apertura fatta in una delle facce laterali, e la quale si guarnisce ordinariamente di due piccoli drappi, perchè l'osservatore avendo la testa coperta, possa avanzarla un poco nella camera ottica, senza lasciarvi passar luce.

Se nella stessa parte si faccia un'altra apertura in modo da introdurvi il braccio destro, la camera ottica potrà servire per disegnare un paese o un edifizio, conducendo il lapis sul contorno dell'immagine che l'osservatore avrà davanti agli occhi.

Lanterna magica.

1486. La *lanterna magica* inventata da Kircker, e il nome della quale è divenuto in certo modo triviale per l'uso a cui serve questo strumento, cioè per gli apparenti prestigii che con essa si presentano al volgo, pur merita di fissar l'attenzione ancora di quelli per cui non ha nulla di magico. Essa consiste in una cassa di legno o di latta, verso il fondo della quale è una lucerna o una grossa candela accesa. I raggi della fiamma vanno a colpire una lente che li riunisce e li fa cadere più densi sopra un vetro piano e sottile su cui son dipinte alcune immagini. In tal modo questa prima lente non fa altro effetto che illuminar molto le figure, che devon essere in una situazione rovesciata. Qualche volta alla lente si sostituisce uno specchio concavo situato dietro alla luce; e qualche volta ancora si combinano insieme gli effetti della lente e dello specchio. Davanti alla lente piana è una seconda lente, a traverso della quale si incrociano i pennelli tramandati dai diversi punti di una stessa figura, mentre i raggi che compongono ciascun pennello escono paralleli in virtù della refrazione: i quali raggi passano quindi per un'apertura circolare fatta in un cartone opportunamente situato, e cadono sopra una terza lente, che l'osservatore può a piacere allontanare dalla seconda o avvicinarvela, per mezzo d'un tubo mobile, all'estremità del quale è fissata questa lente.

I raggi che son passati a traverso di questa lente medesima, producono sopra un muro o sopra una tela bianca posta di faccia, una copia in grande delle figure dipinte sul vetro piano; ed è chiaro che gli oggetti in questa copia appariscono diretti, perchè i pennelli luminosi si incrociano nella seconda lente Due circostanze contribuiscono a render più vivi i colori delle immagini che si presentano all'occhio dello spettatore; cioè la forza della luce a cui è esposto il vetro piano, e il circolo luminoso che i raggi emergenti vanno a formare sul muro.

Fantasmagoria.

1487. I Fisici modificando la costruzione e l'azione della lanterna magica, l'hanno trasformata in uno strumento capace di produrre un effetto molto più imponente, al quale hanno dato il nome di *fantasmagoria.* Qui il meccanismo dell'operazione è totalmente nascosto agli spettatori, i quali non hanno davanti agli occhi se non una tela di mussolino gommoso, tesa verticalmente, che è come la tela d'un quadro in cui le immagini si veggono per trasparenza. Nella stanza in cui si presenta questo fenomeno non esiste altra luce che quella la quale viene da un apparecchio nascosto dietro a questa tela. Appena comincia l'operazione, si vede comparire uno spettro in principio piccolissimo, ma che poi si ingrandisce rapidamente, e sembra avanzarsi a gran passi verso lo spettatore; e quando questa scena vien presentata in un sotterraneo parato di nero, ed è preceduta da un tetro silenzio, interrotto soltanto dal suono lugubre d'un'armonica, tutto concorre ad alterar l'immaginazione, e a disporla ai fantasmi, sicchè è difficile difendersi da una certa impressione di spavento alla vista d'un oggetto, che anco per se stesso è capace di far illusione.

1488. Vediamo ora che cosa accade dietro alla tela. Sia AB (*fig.* 151) una figura di spettro dipinta sopra una lastra di vetro, e posta in situazione rovesciata. Questa figura è illuminata, come nella lanterna magica, dalla luce d'una lucerna, i raggi della quale son passati a traverso di una lente che qui sopprimiamo (*a*). Nuovi raggi partiti dai diversi punti dell'immagine, attraversano successivamente due altre lenti mn, $m'n'$, e il tutto è disposto in modo, che la lente mn essendo in una situazione fissa, possiamo avvicinare ad essa o allontanarne la lente $m'n'$, facendo scorrere un tubo in cui è questa, in un altro in cui è l'altra lente; inoltre è mobile tutto l'apparecchio, sicchè può farsi variare a piacere la sua distanza relativamente alla tela. La lastra di vetro essendo situata al di qua del fuoco dei raggi paralleli, a una piccola distanza dalla lente mn, le due estremità A e B dell'oggetto dipinto su questa lastra (*b*) tramandano due coni di raggi iAk, dBh, i quali dopo essersi refratti nella lente mn, ne escono in direzioni lu, sc, e fg, ge meno divergenti; e inoltre questi coni convergono fra loro più che quando andavano dall'oggetto alla lente. Essi vanno a cadere sull'altra lente $m'n'$ nella

(*a*) Bisogna applicare una vernice sulle parti della lastra di vetro che servono di fondo alla figura, per impedire che passi la luce a traverso di esse.

(*b*) Ciò che si dice di questi due punti si applica egualmente a tutti gli altri.

quale si incrociano, e i loro raggi *ta*, *oa*, e *pb*, *xb* ne escono convergenti, in modo che vanno a dipingere sulla tela *zy* le immagini dei punti da cui provengono; dal che apparisce che l' immagine totale deve essere in situazione retta, a motivo dell' incrociamento dei coni nella seconda lente.

1489. Da quanto abbiamo detto resulta primieramente, che le porzioni dei coni *lcus*, *fqeg* fanno fra loro un angolo maggiore che nel caso in cui, essendo soppressa la lente *mn*, i raggi tramandati dai punti A e B andassero immediatamente verso la lente *m'n'*, e questa circostanza tende ad accrescere le dimensioni dell' immagine *ab*. Dall'altra parte i raggi *lu*, *sc*, e *fq*, *ge* essendo meno divergenti che nel caso in cui non esistesse la lente *mn*, il loro concorso dietro alla lente *m'n'* accade a una distanza maggiore da essa, lo che pure contribuisce all'ingrandimento dell'immagine, perchè allora bisogna che la distanza fra l'apparecchio e la tela sia maggiore. Così si supplisce alla piccolezza dell'oggetto, combinando gli effetti di due lenti, la prima delle quali *mn* fa prendere ai raggi che essa tramanda verso l'altra, le stesse direzioni come se fossero partiti da un oggetto molto più grande.

1490. Tutto essendo disposto come lo rappresenta la figura, se supponiamo che l' immagine *ab* sia distinta, e si voglia ridurla più piccola, basta porre l'apparecchio più vicino alla tela *zy*: ma allora i coni *oat*, *pbx* essendo tagliati dalla tela sotto il loro vertice, l'immagine sarà confusa. Se allontaniamo ora la lente *m'n'* da *mn*, accaderà lo stesso come se si allontanasse il punto da cui si suppongono partire i raggi *lu*, *sc*, o *fq*, *ge* (§. 1045). Ma abbiamo veduto che in tal caso i fuochi *a*, *b* si avvicinano alla lente *m'n'* (§. 1045); dunque l'immagine scemata in grandezza potrà ridursi chiara e distinta come prima.

Che se al contrario vogliamo ridurre l'immagine molto maggiore di quella rappresentata dalla figura, allontaneremo primieramente l'apparecchio dalla tela: ma in tal caso i coni *oat*, *pbx* avranno i loro vertici al di qua di questa tela, e l'immagine sarà sempre confusa. E se si faccia muovere la lente *m'n'* verso *mn*, accaderà lo stesso, come se si avvicinasse il punto da cui si suppongono partire i raggi *lu*, *sc*, o *fq*, *ge*; nel qual caso i fuochi *a*, *b* devono allontanarsi dalla lente *m'n'*, e così l'immagine diverrà nuovamente chiara e distinta.

1491. L'operatore dunque dispone primieramente l'apparecchio a una piccola distanza dalla tela, e allora l'intervallo fra le due lenti, necessario per la chiarezza dell'immagine, è il massimo: quindi allontana progressivamente l'apparecchio, e nel tempo stesso avvicina la lente *m'n'* ad *mn*, e ciò nella proporzione necessaria perchè l'immagine, che cresce continuamente in grandezza, sia sempre distinta.

Dunque lo spettatore, che a motivo dell'oscurità non si accorge che il luogo dell'immagine non cambia relativamente a lui, si lascia sedurre dall'illusione la quale lo porta a credere, che essa si avvicini a lui, e che nel tempo stesso cresca in dimensioni; e questa illusione ha tanto maggior forza sul suo spirito, quanto lo spettro che in principio non era che un punto, giunge rapidamente ad un'estensione molto considerevole, e quanto la sua immaginazione delusa riguarda questo aumento come l'effetto d'un moto progressivo, in virtù del quale giudica che sia venuto ad avvicinarsi a lui un oggetto che poco fa vedeva lontanissimo.

Microscopio solare.

1492 Il microscopio solare non differisce propriamente dalla lanterna magica, se non in quanto che esso è illuminato da un raggio solare, che vien introdotto in un luogo oscuro per mezzo d'uno specchio piano che lo riflette orizzontalmente, il qual raggio passa a traverso di una lente adattata al foro della finestra. Alla viva luce che esce da questa lente si presenta un piccolo vetro bianco chiamato *porta-oggetti*, e in cui si fissano alcuni piccoli insetti, o polveri di farfalla, o alcuni altri piccoli corpi trasparenti.

Un'altra lente destinata a produrre l'immagine è coperta, dalla parte del porta-oggetti, con una piccola lastra di piombo traforata con uno spillo; e per questo foro passano incrociandosi i piccoli fasci di luce che vengono dai varii punti dell'oggetto.

1493 Questa costruzione è utilissima, in quanto che i suddetti piccoli fasci luminosi, son quasi semplici raggi o cilindri sottilissimi di luce, per la qual cosa sono adattatissimi a lasciare impronte chiare e distinte sopra un piano posto in qualunque distanza; e quantunque pochissima possa esser la luce che passa per queste piccole aperture, poichè questa luce è per se stessa molto risplendente, le immagini che essa produce sono risplendentissime.

Può dunque allontanarsi alla distanza di tre o quattro metri il piano che riceve queste immagini, lo che ingrandisce prodigiosamente le dimensioni, e cambia i più piccoli insetti in colossi portentosi. Nondimeno, a una distanza media, le immagini hanno una certa maggior chiarezza e distinzione.

1494. Abbiamo trattato uno dei più fecondi e forse più difficili rami di Fisica, per parte tanto del fluido, quanto dell'organo. In fatti il fluido, vario infinitamente nella sua composizione, si modifica inoltre in mille maniere con la diversità dei suoi moti; e nessun altro genere di

fenomeni presenta gradazioni successive tanto delicate, e che richiedano tanta accortezza nell'osservatore per esser ravvisate. È questo come un filo sottilissimo che deve esser tenuto da una mano abbastanza sicura per non lasciarselo sfuggire, e abbastanza delicata per non romperlo.

L'organo ancora sembra trasformarsi ad ogni momento, in virtù della varietà delle impressioni che prova; e solo con un criterio finissimo ha potuto il Fisico mettere in chiaro i resultamenti delle operazioni di esso, tanto se opera con le sole sue facoltà naturali, quanto se estende queste facoltà con quei mezzi inventati dall'arte, i quali sono per lui altrettanti nuovi mezzi di vedere. Se giudichiamo col calcolo, non v'è nulla tanto semplice e tanto preciso quanto gli effetti della visione; ma quanto si modificano nelle loro applicazioni le leggi da cui dipendono questi effetti, e quanta differenza passa fra il modo con cui l'andamento dei raggi è rappresentato dalla Geometria, e il modo con cui questi raggi medesimi portano nel fondo dell'occhio l'immagine degli oggetti, e vi destano la sensazione!

La teoria della luce non è perfetta, giacchè molte sono le questioni relative alla visione, le quali non sono state sciolte finora. Esistono alcuni fenomeni, come quelli relativi alla diffrazione, alla polarizzazione, ec., nei quali l'azione del fluido luminoso non è stata finora sufficientemente spiegata, come pure non è stato finora determinato fin dove si estenda l'analogia fra lo stesso fluido e il calorico: ed egualmente manca la perfetta soluzione del problema della doppia refrazione, su cui non abbiamo che espressioni geometriche, soluzione che determini la legge fisica da cui dipende questo fenomeno.

Finalmente se si considera quella moltitudine di resultamenti ottenuti dai geometri, dai fisici e dai chimici nello studiare la teoria della luce, se alla memoria di ciò che è stato fatto si unisca l'espettativa di ciò che resta a farsi, ognuno converrà, che non v'è alcun soggetto sul quale possano facilmente farsi osservazioni nè più estese nè più importanti, quanto quel fluido il quale esercita la sua azione su quell'organo che ci serve di strumento per osservare tutta la natura.

INTRODUZIONE

ALLO

STUDIO DELLA MECCANICA.

INTRODUZIONE

ALLO STUDIO DELLA MECCANICA.

1. Un corpo può essere in quiete o in moto: è in quiete, quando resta sempre alla stessa distanza da varii punti fissi dello spazio; ed è in moto quando non resta sempre nello stesso luogo, ossia quando varia la sua distanza dai punti suddetti.

2. Dall'esercizio delle nostre facoltà fisiche acquistiamo l'idea della resistenza e della forza; e chiamiamo *resistenza* quella difficoltà che proviamo a muovere o a trattenere una massa; e chiamiamo *forza* o *potenza* quell'azione con cui la muoviamo o la tratteniamo.

3. La scienza che insegna a determinar l'effetto prodotto sopra un corpo dall'applicazione di una o più forze, si chiama *Meccanica*. Quando più forze operano sopra un corpo o sopra più corpi riuniti, che tutti servono al medesimo effetto finale, ossia sopra un *sistema* di corpi, ma senza produrre in essi alcun moto, indichiamo questo stato di riposo col dire che il sistema è in *equilibrio*; il che accade quando due forze eguali e contrarie si distruggono. E quando una delle forze prevale, o quando una forza opera effettivamente sopra un corpo in quiete, ne nasce il *moto*. Ora la Meccanica studia i corpi in questi due stati, e quindi si divide in due parti principali: quella parte che insegna a stabilir l'equilibrio, considerando quali relazioni debbano esistere fra le direzioni e le intensità delle potenze affinchè si distruggano, in modo che ne resulti la quiete, si chiama *Statica*; e quella che indica le proprietà e insegna le leggi del moto, vien detta *Dinamica*. Dunque la Meccanica è la scienza dell'*Equilibrio* e del *Moto*.

I. STATICA.

In Statica si riguardano come assiomi

1.° Che un corpo spinto al moto da più forze, non può andare che per una sola direzione.

2.° Che due forze eguali e diametralmente opposte fra loro si distruggono.

4. Base generale della Statica è la soluzione del problema della *Composizione delle forze*. Questa consiste nel trovare una forza eguale a un sistema di forze che operano sopra un corpo, tale da stabilir l'equilibrio: questa forza si chiama la *Resultante*; e quelle con le quali essa fa equilibrio si dicono *Componenti*: quindi questo problema può riguardarsi sotto doppio aspetto, cioè diretto e inverso = Date varie forze componenti, trovar la resultante: = Data una forza, decomporla nelle sue componenti =. Cercando la soluzione di questo problema, noi tendiamo al gran vantaggio di sostituire una a più forze o più forze ad una, secondo che lo richieda il bisogno.

E poichè queste forze non debbon prendersi per esseri astratti per se stesse, è però necessario rappresentarle in un modo sensibile per poterle calcolare. Perciò siccome ogni forza tende a trasportare un corpo per una direzione, quantunque nello stato d'equilibrio non abbia un esercizio attuale, dobbiamo sempre misurarla dall'effetto che produrrebbe se non fosse trattenuta. Prendendo dunque una forza o il suo effetto per unità, l'espressione di qualunque altra forza diviene un semplice rapporto, o una quantità matematica, che può sempre rappresentarsi con numeri o con linee. Quindi è stato stabilito di prendere porzioni delle linee di direzione delle medesime per rappresentare le forze; onde basta prendere su queste linee stesse tali parti, che sieno fra loro nella stessa proporzione delle forze rappresentate.

5. Primieramente è chiaro che la resultante di due forze cospiranti, o che operano sopra un corpo in una stessa linea e dalla stessa parte, è eguale alla lor somma: sul che si noti che con questo non intendiamo già di esprimere, che l'effetto prodotto dalla resultante è eguale alla somma degli effetti parziali prodotti dalle componenti, perchè quantunque questo principio sia egualmente vero, nondimeno è soggetto a dimostrazione, come vedremo; ma in Statica non si considerano gli effetti delle forze.

E se queste due forze sono contrarie, è chiaro egualmente, che se sono eguali si distruggeranno, la resultante sarà zero, e il corpo resterà

in equilibrio; e se sieno diseguali, la resultante sarà eguale alla loro differenza, e il corpo si muoverà in virtù dell'eccesso della maggiore, e nella direzione della medesima.

Intanto, giacchè due forze possono essere applicate a un corpo obliquamente o parallelamente, cerchiamone la resultante in ambedue questi casi.

FORZE OBLIQUE.

Parallelogrammo delle forze.

6. È evidente che un corpo spinto da due forze applicate a un punto di esso, deve obbedire in parte all'una e in parte all'altra, e prender quindi una direzione media fra quelle, la quale sarà la resultante che appunto si cerca. Sieno primieramente due forze P, Q, rappresentate dalle linee Am, Bm, e applicate ad angolo retto nel punto m di un corpo (*fig.* I), e cerchiamo della resultante la direzione e il valore. Compisco il parallelogrammo rettangolo $AmBr$ sulle due linee di direzione delle forze, e conduco le due diagonali. Per il punto m conduco $p'q'$ parallela alla diagonale AB, e dalle estremità di questa alzo sopra quella due parallele Ap' e Bq' all'altra diagonale mr, ed avrò così due quadrilateri $Ap'mt$, $Bq'mt$, che saranno due losanghe, perchè $mt = tA$ (come metà di diagonali d'un rettangolo) $= p'm$ (come parallele fra parallele), ec.; e saranno puro eguali fra loro; e quindi $p'm = mq'$. Ora la forza P rappresentata da Am media fra mn e $p'm$, può riguardarsi come la resultante di esse; e così pure la forza Q, rappresentata da Bm, sarebbe la resultante di mn, mq': dunque posson prendersi le componenti in vece delle loro resultanti, cioè mn, $p'm$; mn, mq': ma $p'm$ e mq' sono eguali e dirette in parte contraria, dunque si distruggono, e restano mn, mn, rappresentanti le forze P, Q, cioè $2mn = mr = R$. Dunque *la diagonale del parallelogrammo rettangolo costruito sulle linee di direzione delle forze, rappresenta queste forze in grandezza e in direzione.*

7. Il valore della resultante è dato dalla Geometria, cioè $rm^2 = rA^2 + Am^2 = Bm^2 + Am^2$, ossia $R^2 = P^2 + Q^2$: dunque *il quadrato della resultante di due forze ortogonali è eguale alla somma dei quadrati delle medesime.*

8. Dalla Trigonometria sin ha la situazione della resultante. In un triangolo rettangolo ABm (*fig.* II.) un cateto Bm può sempre rappresentare la tangente dell'angolo opposto, e l'altro Am il raggio; e se questi due cateti rappresentano due forze ortogonali, l'ipotenusa AB rappresenterà la resultante: dunque $Bm : mA :: tang\ BAm : 1$: ma

BAm=ABS, angolo formato dalla resultante con una delle forze, dunque tang ABS$=\frac{Bm}{Am}=\frac{Bm}{BS}=\frac{Q}{P}$. Nello stesso modo si avrebbe

tang AB$m=\frac{P}{Q}$; e così si ha la direzione cercata della resultante.

In altro modo si può trovare la situazione della resultante. Se B$'m'$, m'A sieno le linee rappresentanti le due forze ortogonali P e Q, S$'m'$ sarà la resultante. Ora dalla Trigonometria abbiamo B$'m'$: AB$'$: : sen B$'$Am' : 1; ma B$'$Am'=AB$'$S$'$=S$'m'$B$'$, angolo d'inclinazione della resultante con una forza P, rappresentata da B$'m'$: dunque P : R : : sen S$'m'$B$'$: 1, e quindi P=R sen S$'m'$B$'$. Parimente abbiamo Am' : AB$'$: : cos B$'$Am' : 1, ossia Q : R : : cos S$'m'$B$'$: 1, e quindi Q=R cos S$'m'$B$'$; formule comodissime, e in uso presso tutti i moderni statici.

9. Sieno in secondo luogo le due forze P, Q, applicate ad un punto m d'un corpo, a qualunque angolo (*fig.* III). Compisco qui pure il parallelogrammo sulle linee Pm, mQ rappresentanti le dette forze, e conduco fra esse la diagonale mr: per il punto m conduco una perpendicolare AB alla medesima: dalle estremità P e Q conduco sopra la diagonale le perpendicolari Pp'', Qq'', e sopra AB le perpendicolari Pp', Qq'; ed avrò così due rettangoli P$p'mp''$, Q$q'mq''$, nei quali Pm rappresenta la resultante delle due forze $p'm$, mp'', e Qm la resultante di mq', mq''. Ma Pp''=Qq'', per l'eguaglianza fra i triangoli P$p''r$, Qmq''; dunque $p'm$ $=mq'$, dunque le forze rappresentate da queste linee si distruggono, perchè son eguali e contrarie; e per rappresentare le forze P, Q, restano soltanto le forze mp'', mq'': ma per l'eguaglianza dei triangoli mPp'', rQq'', ancora $mp''=rq''$, dunque $mp''+mq''=mp''+p''r=rm$: dunque *la diagonale condotta nel parallelogrammo costruito sulle linee di direzione di due forze ad angolo non retto, rappresenta la resultante delle medesime.*

10. In quanto al valore, si ha dalla trigonometria $mr^2=mP^2+Pr^2-2mP.\ Pr\ \cos mPr=mP^2+mQ^2-2mP.\ Qm.\ \cos mPr$; ossia $R^2=P^2+Q^2-2PQ\ \cos mPr$: ma $mPr+PmQ=180°$, dunque $mPr=180°-PmQ$, e $\cos(180°-PmQ)=-\cos PmQ$; dunque $R^2=P^2+Q^2+2P.Q\cos PmQ$, valore della resultante.

E qui si osservi che questa espressione combina con quella della resultante delle forze ortogonali, dove il supplemento dell'angolo delle forze è 90°, e cos 90°=0, dunque 2P. Q cos PmQ=0, e però resta, come già si trovò, $R^2=P^2+Q^2$.

11. Per la direzione della resultante, si ha dalla trigonometria rm : rQ : : sen rQm : sen Qmr, ossia rm : mP : : sen rQm : sen Qmr: ma

$rQm + QmP = 180°$, e $rQm = 180° - QmP$; e sen $(180° - QmP) =$ sen QmP, dunque $rm : mP :: $ sen $QmP :$ sen Qmr, ossia $R : P ::$ sen QmP : sen $Qmr =$ sen$QmP \times \frac{P}{R}$. Nello stesso modo avremmo sen $Pmr =$ sen $QmP \times \frac{Q}{R}$

12. Per ottener l'equilibrio fra tre forze P, Q, S (*fig.* IV) applicate in un punto m nelle direzioni mP, mQ, mS, bisogna che una di queste tre forze sia eguale e contraria alla resultante dell'altre due; e poichè questa resultante è compresa nel piano di queste due forze, le tre forze devon esser tutte nel piano stesso. Sia mR il prolungamento di mS; la resultante R di P e di Q sarà diretta per mR, e sarà $R = S$. Paragonando questa resultante con ciascuna delle componenti, avremo, secondo la precedente dimostrazione,

$R : Q ::$ sen $PmQ :$ sen PmR

$R : Q ::$ sen $PmQ :$ sen QmR;

ma $PmR + PmS = 180°$, e $PmR = 180° - PmS$, e sen $(180° - PmS) =$ sen PmS, così sen $QmR =$ sen QmS: dunque combinando queste proporzioni, avremo

$$S : Q : P :: \text{sen } PmQ : \text{sen } PmS : \text{sen } QmS,$$

cioè, *quando tre forze sono in equilibrio intorno ad un punto, ciascuna di esse può esser rappresentata dal seno dell'angolo compreso fra le direzioni dell'altre due.*

Conosciuta così la resultante di tre forze, facilmente si potrebbe dedurre quella di qualunque numero di forze applicate in un sol punto: ma questo basti su tal proposito, per il fine puramente elementare che ci siamo proposti.

Forze parallele.

13. Sieno due forze parallele p, q, applicate *perpendicolarmente* alle due estremità della linea EF, e dirette dalla stessa parte (*fig.* V), e cerchiamone intanto la direzione. Aggiungiamo due forze eguali e contrarie p', q' sulla direzione EF delle prime forze, col che si sa che il sistema non viene alterato. Componiamo le due forze p', p in una sola P, e le q', q in una sola Q; poichè p', q' si distruggono, resteranno P, Q per rappresentare le date forze p, q, e la resultante di quelle sarà la resultante di queste; e poichè P, Q non sono parallele si incontreranno in un punto A. Per il punto A conduciamo AO, perpendicolare alla linea d'applicazione EF, e BC parallela alla medesima. Qualunque punto della linea di direzione d'una forza può prendersi per punto d'applicazione

della medesima: dunque supponiamo le due forze P e Q applicate nel punto A del loro incontro. Decomponiamo la forza P in due altre, dirette per AB, AO; e poichè le circostanze di situazione del punto d'applicazione sono le stesse in A e in E, cioè la forza P fa lo stesso angolo in E e in A, la forza AB rappresenterà p', e la forza AO rappresenterà p: decomponiamo egualmente Q nelle due q', q, dirette per AC, AO, e poichè p', q' eguali e contrarie si distruggono, la resultante di p. q sarà$=p+q$, e diretta per AO, cioè parallela alle componenti.

14. Cerchiamo ora di determinare il punto della retta d'applicazione, per il quale passerà la resultante, ossia il punto in cui la resultante stessa debba applicarsi, affinchè produca sul mobile lo stesso effetto delle componenti. P è la resultante di due forze ortogonali p e p'; dunque sarà, come dimostrammo di sopra (§. 8), $\tang \mathrm{PE}p' = \frac{p}{p'}$. Ma nel triangolo AEO abbiamo dalla trigonometria la proporzione $\mathrm{AO} : \mathrm{OE} :: \tang \mathrm{AEO} : 1$, ossia $\mathrm{AO} : \mathrm{OE} :: \tang \mathrm{EAB} : 1$, ossia $\mathrm{AO} : \mathrm{OE} :: \tang \mathrm{PE}p' : 1$; dunque $\frac{p}{p'} = \frac{\mathrm{AO}}{\mathrm{OE}}$, e quindi $p' = \frac{\mathrm{OE}.\,p}{\mathrm{AO}}$; e nello stesso modo si trova $q' = \frac{\mathrm{OF}}{\mathrm{AO}} \times q$; ma $p' = q'$, dunque $\frac{\mathrm{OE}.\,p}{\mathrm{AO}} = \frac{\mathrm{OF}}{\mathrm{AO}}.\, q$, ossia $\mathrm{OE}.\,p = \mathrm{OF}.\,q$; di qui si ha $p : q :: \mathrm{OF} : \mathrm{OE}$, cioè la *resultante di due forze parallele*, affinchè produca lo stesso effetto delle componenti, *deve dividere la retta d'applicazione in parti reciprocamente proporzionali alle forze medesime.*

15. Sieno due forze parallele p, q (*fig.* VI) applicate *obliquamente* alla retta AG. Conducendo una linea BD perpendicolare alle forze, sulla quale i punti B, D, C saranno i punti d'applicazione di esse e della resultante, avremo $p : q :: \mathrm{DC} : \mathrm{CB}$; ma i lati AD, AG son tagliati proporzionalmente dalle parallele CF, DG, dunque $\mathrm{DC} : \mathrm{CB} :: \mathrm{GF} : \mathrm{FE}$; dunque $p : q :: \mathrm{GF} : \mathrm{FE}$. Dunque o sieno rettangolari o oblique due forze parallele, la resultante taglia sempre la retta d'applicazione in parti reciprocamente proporzionali alle componenti.

Quanto abbiamo detto fin qui, serve ancora per la soluzione del problema inverso, poichè delle cinque cose p, q, R, EF, FG, conoscendone tre, si trovano l'altre due.

Se invece di cercare la resultante per ottenere lo stesso effetto che produrrebbero le componenti, volessimo produrre l'equilibrio, baste-

rebbe applicare in direzione contraria la resultante trovata, e applicarla nel punto trovato.

CENTRO DI GRAVITÀ.

16. Ogni corpo lasciato libero a se stesso cade verso la superficie della terra La causa di questa caduta è detta *forza di gravità*, la quale è uniforme per tutti i corpi, indipendentemente dalla loro massa; ed è noto che la diversità di tempo che impiegano diversi corpi nel cadere, dipende dalla resistenza dell'aria. Per impedirne la caduta è necessaria un'azione contro ogni forza motrice d'ogni molecola: ma poichè tutte le molecole unite formano un aggregato, basterà opporre una sola resistenza in un punto di esso, per il quale si può sempre supporre che passi la resultante di tutte le forze. Questo punto si chiama *centro di gravità*. Dunque il *centro di gravità* è un punto intorno al quale tutte le parti di un corpo sono in equilibrio. Esso è diverso dal *centro di figura*, e non si combina con questo, se non nei corpi regolari e simmetrici relativamente alla massa uniforme di tutti i punti. È ancora diverso dal *centro di moto*, che è un punto intorno al quale un corpo si muove o fa sforzo per muoversi.

17. Il problema importante su questo proposito è il cercare il centro di gravità d'un corpo o d'un sistema di corpi V e un modo meccanico di trovarlo, il quale può esser utile in molti casi, e però è opportuno il conoscerlo. Si sospenda liberamente il corpo per un punto qualunque, si attacchi quindi al punto di sospensione un filo a piombo, e si segni sul corpo stesso la linea sulla direzione del filo: è certo che il centro di gravità deve trovarsi in un punto di questa linea, perchè deve essere sotto il centro di moto o punto di sospensione. Si sospenda quindi il corpo per un altro punto, e si faccia la stessa operazione, e così si troverà un'altra linea sulla quale deve trovarsi il centro di gravità, il quale perciò sarà sul punto del loro incontro.

18. Il centro di gravità d'una linea retta di grossezza uniforme è nel centro di essa: d'un circolo e di qualunque poligono regolare è nel centro della figura.

19. Cerchiamolo in un triangolo ABC (*fig.* VIII). Se da un vertice B si conduca BD sulla metà della base, è chiaro che questa linea dividerà il triangolo in due parti simmetriche: lo stesso accaderà per un'altra parte, se da un altro vertice C si conduca CE alla metà d'un altro lato AB. Il centro di gravità deve dunque trovarsi sull'una e sull'altra linea di divisione, cioè sul punto O della loro in-

tersezione. Determiniamone ora l'espressione generale. I lati AC, AB son divisi in mezzo, dunque le parti di essi son proporzionali fra loro e agli interi lati; dunque la linea DE che unisce i due punti delle loro metà D, E, è parallela a CB; dunque i triangoli COB, DOE son simili, per gli angoli eguali fra le parallele; dunque avremo la proporzione EO : OC : : ED : CB : : AD : DC : : 1 : 2. Di qui si ha $EO = \frac{1}{3}$ CE; dunque *il centro di gravità d'un triangolo è ai $\frac{2}{3}$ della linea abbassata da un vertice sulla metà del lato opposto*.

20. Si voglia il centro di gravità di una piramide triangolare SABC (*fig.* VIII). Cerco col metodo precedente il centro di gravità della faccia triangolare ABC, e sia questo E: conduco SE, ed è chiaro che il centro di gravità d'ogni sezione parallela alla base sarà sulla linea SE. Conduco SD, e il centro di gravità della faccia triangolare SAB sarà in F ai $\frac{2}{3}$ di SD. Conducendo CF è chiaro egualmente, che il cantro di gravità d'ogni sezione parallela alla faccia SAB sarà sopra CF; dunque il centro della piramide che deve trovarsi sopra SE e sopra CF, sarà nel loro punto d'incontro O. Determiniamone l'espressione. $DE = \frac{1}{3}$ DC, $DF = \frac{1}{3}$ DS, dunque EF è parallela a CS, e però son simili qui pure i triangoli SOC, FOE, e quindi avremo EO : OS : : EF : CS : : DE : EC : : 1 : 3, e quindi $EO = \frac{1}{3}$ OS. Dunque *il centro di gravità d'una piramide è ai $\frac{3}{4}$ della linea abbassata dal vertice sul centro di gravità della base;* il che si avvera ancora per ogni piramide di qualunque base.

21. Per dare un esempio ancora di un corpo meno regolare, cerchiamo il centro di gravità d'un trapezio ABCD (*fig.* IX). Divido in mezzo in E e in H i due lati paralleli DC, AB, e in F, G divido pure per metà le parti eguali DE, EC: conduco le rette FA, FE, BE, BG, e unisco con EH i punti di divisione dei lati paralleli. Diviso così il trapezio in tre triangoli ABE, BEC, AED, cerco di ciascuno il centro di gravità, che sarà in I, N, L; sicchè sarà $AI = \frac{2}{3}$ AF, $BL = \frac{2}{3}$ BG, $EN = \frac{2}{3}$ EH. Unisco i due centri I ed L con IL, che sarà parallela a DC, e sarà divisa in M da EH, per la nota teoria delle linee proporzionali. I due triangoli laterali, eguali in superficie, perchè d'egual base e d'eguale altezza, si possono considerare come due corpi di egual peso, il centro di gravità dei quali sarà in M. Dunque tutto si riduce a trovare il centro di gravità fra M ed N, che sarà il centro di tutto il sistema o del trapezio. Ma il centro di gravità rappresenta la resultante di tutte le forze; queste forze sono parallele, perchè tutte forze di gravità, cioè verticali; e la resultante di due forze parallele, come dimostrammo (§. 14), divide la retta d'applicazione in parti reciprocamente proporzionali; dunque non dobbiamo far altro che dividere l'intervallo MN in parti

reciprocamente proporzionali a M ed N. Sia P questo punto di divisione: avremo $M : N :: NP : MP$, ossia
$M+N : N :: NP+MP : MP$, ossia

$$MP = \frac{N \times MN}{M+N}$$

Ora $MN = \frac{1}{3} EH$; e i tre triangoli suddetti possono rappresentarsi per le loro basi, avendo tutti eguale altezza: dunque, sostituendo $\frac{1}{3} EH$ ad MN, AB ad N., DC ad M, perchè trovammo che M era il centro di gravità di I e di L, avremo

$$PM = \frac{1}{3} EH \times \frac{AB}{AB+DC}, \text{ e quindi } EP = \frac{1}{3} EH + MP = \frac{1}{3} EH$$

$$+ \frac{1}{3} EH \frac{\times AB}{AB+DC} = \frac{1}{3} EH \frac{(2\,AB+DC)}{AB+DC}. \text{ Dunque ec.}$$

22. Con questi principii si spiegano molti fenomeni o curiosi o maravigliosi, ma che son sempre soggetto di studio per il Fisico osservatore. Ripetiamo il principio generale, che un'opportuna forza o potenza applicata sul centro di gravità di un corpo per muoverlo o per trattenerlo, basta a produrre l'equilibrio, il quale non può sussistere, se questa potenza non sia proporzionata alle forze agenti, e non sia ben applicata. Ciò premesso, si spiega facilmente 1°. perchè alcuni corpi sopra un piano inclinato ruzzolano, altri strisciano, e un corpo stesso o vi ruzzola o vi striscia secondo la sua diversa situazione. Se la verticale che passa per il centro di gravità di questi corpi cade sulla loro base che è a contatto col piano, la forza da cui son mossi è decomposta dalla resistenza del piano in due forze, una perpendicolare che vien distrutta dalla resistenza stessa del piano, e l'altra parallela, che è quella appunto che lo fa strisciare. Che se la linea la quale passa per il centro di gravità non incontra la base, non accade più veruna decomposizione della forza di gravità, la quale contribuisce totalmente a far cadere il corpo verso la terra, il quale in conseguenza gira intorno al suo punto d'appoggio, e quindi ruzzola lungo il piano. 2.° Si spiega con questi principii perchè sono stabili le celebri torri di Pisa e di Bologna, la prima alta circa 142 piedi, e inclinata sul piano 15 piedi in circa, e la seconda alta 132 piedi e inclinata 9 piedi. 3°. Perchè quando portiamo un peso sulle spalle, o quando montiamo una scala, inclinimo anteriormente la persona, come al contrario l'incliniamo per l'indietro se portiamo un peso sulle braccia, o se percorriamo una ripida scesa: infatti caderemmo se la linea che passa per il centro di gravità del nostro corpo, non cadesse sulla nostra base, cioè fra i piedi. 4.° Tutti i giochi d'equilibrio son fondati su questa teoria; e un ballerino a corda non può cadere finchè egli sta in modo che detta linea incontri la base del suo corpo. 5°. Così si spiega il *para-*

dosso meccanico che si osserva in un corpo, il quale lasciato libero a se stesso sembra salire sopra un piano inclinato contro le leggi di gravità. Questo corpo consiste in due coni eguali ACBD (*fig.* X) uniti alle basi in modo da formare un corpo solo, e posti sopra due regoli a piano inclinato, ma inclinato in modo che l'altezza Fg di esso sia un poco minore del semidiametro della base comune dei due coni. Per meglio comprendere l'apparente ascensione di questo doppio cono su questi regoli, rappresentiamocelo come visto di faccia alla punta (*fig.* XI). A F è uno dei regoli elevati, su i quali deve ruzzolare il doppio cono, AG la linea orizzontale, B il vertice di uno dei coni, EF un'altra orizzontale inferiore all'asse dei coni. FG = Ec l'altezza dei regoli, un poco minore del semi-diametro delle loro basi: BF sarà la strada che dovrà percorrere il centro di gravità, perchè questa linea essendo inclinata verso F, il centro di gravità deve scendere in F, e portar seco tutto il corpo più o meno rapidamente, secondo che sarà maggiore o minore l'incliuazione, sempre però dentro i limiti prescritti.

MACCHINE.

Il bisogno inventò, e l'industria perfezionò certi mezzi per supplire alla debolezza delle forze fisiche dell'uomo. Questi mezzi sono le *macchine*, ossia quelli strumenti di cui ci serviamo per produrre l'equilibrio in qualunque sistema di forze, per farne poi l'utile applicazione al moto dei corpi.

In ogni macchina si considera la *resistenza*, ossia un peso da equilibrarsi, un corpo da muoversi, da trattenersi, ec.; la *potenza*, ossia la forza che vien impiegata a vincer la resistenza; e il *punto d'appoggio* o *ipomoclio*, ossia un punto fisso ed immobile, che serve a resistere allo sforzo della potenza e della resistenza, e in tutti i casi è destinato a far le veci di una potenza eguale e direttamente opposta alla resultante delle due forze rappresentate dalla potenza e dalla resistenza. Cerchiamo l'equilibrio nelle macchine principali e più usitate.

Corde o macchine funicolari.

23. Sieno tre corde Q, P, S, che operino insieme (*fig.* XII) sopra un corpo in un punto A a cui sono applicate, e si cerchi l'equilibrio delle loro forze. È chiaro che questo è il caso delle tre forze considerate di sopra (§. 12): quindi se si prolunghi PA che rappresenta, se vogliamo,

un peso P, e si formi al solito il parallelogrammo delle forze $mA\,nR$, avremo qui pure R : Q : S :: RA : Am : An, ossia R : Q : S :: RA : Am : mR, ossia R : Q : S :: sen QAS : sen SAR : sen QAR; ma R=P, dunque P : Q : S :: sen QAS : sen SAR : sen QAR. Di queste sei cose, cioè le tre forze, e le tre loro direzioni, conoscendone tre, si trovano le altre tre.

24. Se il punto d'unione, o nodo, è fisso, gli angoli QAR, SAR possono essere eguali o diseguali; ma se il nodo è mobile, gli angoli saranno necessariamente eguali, poichè il nodo deve scendere finchè la potenza P sia diretta nella stessa maniera, relativamente alle due potenze Q, S, cioè finchè la direzione PAR della potenza P, divida in due parti eguali l'angolo QAS, e le due potenze Q ed S divengano eguali. Questo è il caso di una corda QS (*fig.* XIII) fissata alle sue due estremità Q, S, alla quale si attacchi nel punto A' il peso P, a nodo mobile. È certo primieramente che la corda QA'S, in virtù del peso P, si allontanerà dalla sua situazione, e prenderà una direzione spezzata come QAS. Cerchiamo dunque quale sarà questa direzione. Conduco da Q l'orizzontale QK, e per S la verticale OH che incontri in H il prolungamento di QA. Poichè il nodo A è mobile, sarà QAD=DAS, è inoltre QAD=QHS, e SAD=ASH; dunque AHS=ASH, dunque AS=AH. Ma nel triangolo rettangolo QOH conosciamo l'ipotenusa QH=QA+AH=QA+AS, e conosciamo pure QO, perchè è data la situazione dei punti Q, S; dunque per mezzo della trigonometria potremo conoscere QHO, ossia QAD, che indica la direzione di P, e quindi le parti QA, AS della corda.

25. Dai rapporti trovati fra le forze e i seni degli angoli formati dalle medesime si rileva, che P, il quale rappresenta il peso sostenuto dalle due forze Q, S, è minore della somma delle medesime, tanto se il nodo è fisso, quanto se è mobile. Ma se le due corde AQ, BS (*fig.* XIV) divengono parallele, esse saranno naturalmente verticali, o parallele alla direzione del peso P, ossia della resistenza da vincersi, poichè nel loro stato di tensione avranno una resultante parallela ad esse (§. 13): e poichè questa resultante deve essere eguale e direttamente opposta alla forza di gravità della resistenza (§. 4), è chiaro che QA, SB, PX saranno parallele. In tal caso essendo P=Q+S, ne segue che il rapporto del peso alla somma delle due potenze Q ed S è il massimo; ossia la disposizione più vantaggiosa in cui possiamo porre due corde per far equilibrio alla maggior resistenza, è la direzione parallela alla direzione della resistenza.

26. Sia ABCDE una corda, (*fig* XV) supposta al solito senza gravità, attaccata a due punti fissi A, E, e con i nodi fissi B, C, D, ai quali

sieno applicate le forze P, Q, S, tutte dirette in un medesimo piano, cioè nel piano del poligono funicolare ABCDE. È chiaro che la corda BC è tesa da B in C egualmente che da C in B: dunque BC che rappresenta la resultante di BA e BP, è eguale e direttamente opposta alla stessa BC come quella che rappresenta la resultante delle tensioni delle due corde CD, CQ; quindi le tensioni delle quattro corde AB, BP, CD, CQ, sono quattro forze in equilibrio. Dunque se sono in equilibrio queste quattro forze possiamo combinarle in altro modo, e dire che la resultante delle tensioni delle due corde PB, CQ è eguale e direttamente opposta alla resultante delle tensioni delle due corde AB, CD; ma la prima di queste resultanti passa per il punto d' incontro T delle due corde o forze oblique PB, QC prolungate (§. 13), e la seconda passa per il punto d' incontro F delle due corde AB, CD, parimente prolungate · dunque queste due resultanti cadono sulla linea TF; una tira da T in F, e l'altra da F in T; dunque chiamando Z ciascuna di queste resultanti, A, H le tensioni delle corde BA, CD, avremo (§. 23) Z : A : H :: sen AFD : sen DFT : sen AFT, ossia Z : P : Q: :senPTQ : senQTZ : sen PTZ.

27. Se invece delle due forze P e Q mettiamo la loro resultante Z, invece della corda ABCDE avremo la corda AFDE, agli angoli F e D della quale saranno applicate le due potenze Z ed S. Facendo, relativamente a questa corda, lo stesso raziocinio che abbiamo fatto per la prima, vedremo che la resultante delle tensioni delle due corde FZ, DS deve essere eguale e direttamente opposta alla resultante delle tensioni delle due corde FA, DE: la prima resultante passa per il punto d' incontro V delle due corde ZF, SD; e la seconda passa per il punto d'incontro O delle due corde AF, ED; dunque ambedue cadono sulla linea VO, una tirando da V verso O, l'altra tirando da O verso V. Chiamiamo R ciascuna di queste resultanti, E la tensione della corda DE; e consideriamo che la tensione della corda AF è la stessa che quella di AB, che già chiamammo A; dunque avremo R : A : E :: sen AOE : senEOV : senAOV, ossiaR : Z : S: :senZVS : senSVR : senZVR. Se i nodi fossero in maggior numero, proseguiremmo a fare lo stesso raziocinio.

Relativamente poi alla tensione della corda BC, di cui non abbiamo parlato finora, chiamandola K, avremo, come è chiaro, K : A : P : :sen ABP : sen CBP : sen ABC.

Per mezzo di queste proporzioni potranno paragonarsi a due a due le diverse forze A, K, H, E, P, Q, S, Z, R.

28. Restando tutto nello stesso stato, supponiamo che le potenze P, Q, S divengano altrettanti pesi (*fig.* XVI), le direzioni dei quali in tal caso saranno verticali all' orizzonte e parallele fra loro. La resultante

R diverrà verticale, passerà per il centro di gravità del sistema dei pesi P, Q, S, e sarà eguale alla loro somma P+Q+S. Avremo dunque P+Q+S : A : E :: sen AOE : seu EOV : sen AOV; cioè *la somma dei pesi attaccati alla corda, sta alla tensione di una delle corde estreme, come il seno dell'angolo formato da queste due corde, sta al seno dell'angolo formato dall'altra corda e dalla verticale.*

Abbiamo egualmente Z : A : H :: sen AFD : sen EFT : sen AFT: dunque riguardando la corda come fissata in D, e astraendo dalla potenza S e dalla corda DE, queste proporzioni danno la stessa conclusione della precedente.

29. Finora abbiamo sempre supposta la corda come priva di gravità. Sia ora ABCDE (*fig.* XVII) una corda o pesante o non pesante, fissata ai due punti A, E, la quale soltanto per la sua gravità naturale si disponga in una certa curva: è chiaro che potremo riguardare questa corda come un poligono di infiniti lati, caricato di pesi in tutti i suoi punti. Per i lati estremi o punti estremi di questo poligono, si conducano le tangenti AO, EO che si incontrino in O, e quindi si conducano le verticali OV, AX, EY, e chiamiamo R il peso totale della corda; A, E i pesi o resistenze dei punti fissi A, E, ossia le tensioni della corda nelle direzioni AO, EO: avremo al solito R : A : E :: sen AOE : senOEY : sen OAX.

Egualmente se per un punto qualunque D della corda si conduca la tangente DF, e si alzi la perpendicolare FT, chiamando Z il peso della parte ABCD della corda, D la tensione di questa corda in D, avremo Z : A : D :: sen AFD : sen DFT : sen AFX, ec.

Dunque la curva della corda è sempre tale, che *il peso di questa corda o di qualunque parte di essa, essendo proporzionale al seno dell'angolo che forman fra loro le tangenti condotte dalle estremità della corda, o di una delle sue parti, le tensioni nelle direzioni delle tangenti sono reciprocamente proporzionali ai seni degli angoli formati da queste tangenti con la verticale.*

Leva.

30. Una delle macchine più comunemente usate è la *leva*. La *leva* è una verga inflessibile, o retta o curva, mobile circolarmente sopra un punto fisso, la quale serve ad alzare, muovere, o in generale a mettere in equilibrio varie forze o potenze

Tre sono le specie di leve conosciute, secondo i modi diversi con cui son disposte fra loro la potenza, la resistenza, e il punto d'appoggio. Nella *leva di* 1.° *genere* il punto d'appoggio è fra la potenza e la resistenza; e tali sono le bilance, la stadera, le forbici, ec Nella *leva*

di 2.º genere, la potenza è fra la resistenza e l'ipomoclio; e tali sono le verghe con cui solleviamo qualche peso, fissandone un'estremità in un punto d'un piano immobile, e applicando all'altra la potenza; e tali sono il coltello da panattiere, i remi, nel maneggiare i quali abbiamo ad un'estremità l'acqua per punto d'appoggio, ec. Finalmente nella *leva di 3.º genere* la potenza è fra il punto d'appoggio e la resistenza; e tali sono le pinzette, i nostri organi del moto, poichè i muscoli nel raccorciarsi avvicinano fra loro i proprii punti d'attacco che son vicini alle articolazioni, intorno alle quali esiste un moto di rotazione, ec.

31. Per trovar la legge d'equilibrio in questa macchina si osservi, che la potenza P e la resistenza R rappresentano due forze applicate in due punti sopra una linea LL′, che rappresenta la leva; e che il punto A d'appoggio rappresenta il punto in cui dovrebbe applicarsi la forza che stabilisce l'equilibrio fra la potenza e la resistenza, ossia la resultante; e che ciò è vero per tutti e tre i generi di leva (*fig.* XVIII). Dunque applicando a questo caso ciò che dicemmo del punto d'applicazione della resultante di due forze (§. 13), potremo stabilire il principio, che *una potenza la quale per mezzo di una leva operi sopra un peso, sarà in equilibrio con quello, quando l'una e l'altro sieno in ragione inversa delle loro distanze dal punto d'appoggio*, cioè in generale $P : R :: L'A : LA$, ossia $P \times LA = R \times L'A$. Da ciò apparisce che la leva di primo genere è utile egualmente per la potenza e per la resistenza; quella di secondo è la più vantaggiosa alla potenza, e quella di terzo genere è più svantaggiosa alla medesima; sicchè se volessimo equilibrare un peso molto considerevole, e non potessimo impiegare che una potenza piccolissima, basterebbe applicar questa alla maggior distanza possibile dal punto d'appoggio, per ottenere facilmente l'intento.

32. Si noti però, che quantunque per la dimostrazione abbiamo considerata la leva, come già considerammo la linea d'applicazione, qual semplice linea senza peso, in pratica non dovrà ciò trascurarsi, e dovrà valutarsi il peso del braccio della leva, da aggiungersi al peso della forza che opera da quella parte, giacchè esso può considerarsi come porzione della medesima forza o potenza.

Ma per valutare il peso della leva, non deve questo aggiungersi semplicemente al peso della forza corrispondente, giacchè non tutti gli sforzi elementari, per esempio, di LA, sono eguali, ma variano in energia secondo la lor distanza dall'ipomoclio. Dunque bisogna conoscere il peso di ciascuno dei bracci della leva, cercarne il centro di gravità, e valutare la distanza di questo dal punto d'appoggio. Prendiamo un esempio pratico, supponendo la leva LL′ di grossezza uniforme da un'estremità all'altra. Per esempio, sia la leva lunga 8 piedi, pesi lib-

bre 4, e il punto d'appoggio sia ai $\frac{3}{4}$ della lunghezza di essa: il braccio LA sarà 6 piedi e peserà libbre 3, e il braccio AL′ sarà 2 piedi e peserà libbre 1. Si voglia equilibrare con questa leva un peso $R=12$. Il centro di gravità, ossia la resultante di tutte le forze di LA, eguale alla somma di esse, sarà nel punto t di mezzo, perchè abbiamo supposta la leva di grossezza e di peso uniforme; sicchè la sua distanza dal punto d'appoggio sarà $tA=\frac{LA}{2}=3$: dunque da questa parte, oltre la forza P, graviterà ancora la forza $m\times tA=3.3=9$. Nello stesso modo essendo nel punto u di mezzo il centro di gravità di L′A, o la resultante di tutte le sue forze $=2$, dalla parte della resistenza graviterà una forza espressa da $n\times uA=2.1$. Dunque l'equazione $P\times LA=R\times L'A$ diventa $P\times LA+m.tA=R\times L'A \quad n\times uA$, ossia $P.6+3.3=12.2+1.1$, e quindi $P=\frac{16}{6}=2\frac{2}{3}$ farà equilibrio in questo caso alla resistenza 12.

33. Se la potenza e la resistenza sono perpendicolari alla leva, le distanze di esse dal punto d'appoggio son misurate dalla lunghezza dei bracci: ma se sieno oblique, la vera distanza non è più misurata dai bracci, e per conoscerla bisognerà condurre dal punto d'appoggio le perpendicolari Aa, Ab (*fig.* XIX) sopra le direzioni della potenza e della resistenza, prolungate se occorre; e queste perpendicolari, che son più corte dei bracci della leva, sono la vera misura delle distanze delle forze dal punto d'appoggio: dunque sarà $P:R::Aa:Ab$, ossia $P=R\times\frac{Aa}{Ab}$. E se P ed R sieno inclinate sulla leva ad angoli diseguali, la leva sarà favorevole a quella forza che è inclinata meno obliquamente. Infatti se P diventasse P′, avremmo $P'=R\times\frac{Aa}{Ac}>R\times\frac{Aa}{Ab}$, perchè $Ac<Ab$. Dunque per equilibrare un gran peso con poca potenza, basta far più lungo il braccio della leva al quale vien questa applicata, purchè alla lunghezza sia proporzionata la grossezza, affinchè la leva non brandisca o si rompa.

La leva ad angolo, quale si usa nel moto di alcune trombe, dei campanelli, ec., produce pure lo stesso effetto, perchè le due braccia, nel girare, trovandosi oblique alle direzioni della potenza e della resistenza, l'obliquità loro è eguale da una parte e dall' altra, e però resta lo stesso il rapporto delle distanze dell' ipomoclio dalle direzioni delle forze.

34. Se una macchina semplice produce tanto utile effetto, molto più utile lo produrrà se venga composta. Possiamo formare un sistema di leve, col quale equilibrare grandissime resistenze con potenze picco-

lissime. Sia AB una leva (*fig.* XX) composta di due, tre, ec., leve eguali *ab*, ed egualmente divise nei punti d'appoggio *c*: ad un'estremità del sistema sia la massa R, da equilibrarsi da una potenza P applicata all'altra estremità. Per la prima leva avremo P : *r* : : *ac* : *bc*; nella seconda, *r* fa le veci di potenza, e però sarà *r* : *r'* : : *ac* : *bc*; nella terza per la stessa ragione avremo *r'* : R : : *ac* : *bc*; e moltiplicando fra loro queste proporzioni, termine per termine, e riducendo avremo P : R : : $ac^3 : bc^3$, e $P = R \times \frac{ac^3}{bc^3}$; e in generale $P = R \times \frac{ac^n}{bc^n}$, quantità tanto minore quanto più lungo è il braccio *bc*, e quanto maggiore è *n*: dunque *in una leva composta il rapporto della potenza alla resistenza con cui si equilibra, è composto di tutti i rapporti semplici d'ogni leva separata.*

Bilancia.

35. La *bilancia* (*fig.* XXI) è una macchina composta di una leva retta o *flagello* AB, col punto d'appoggio nel mezzo; e dalle estremità di essa pendono due bacini C, D, in cui devono porsi le materie da pesarsi. Nel punto d'appoggio suol collocarsi un ago PO, che resta verticale finchè la bilancia è in equilibrio, e con l'inclinarsi o da una parte o dall'altra indica il disequilibrio. Quando la bilancia è per se stessa in equilibrio perfetto, indipendentemente dalle materie che vogliamo pesare, possiamo riguardarla come se non avesse peso.

La bilaocia serve a equilibrare due sostanze, sicchè conosciuto il peso dell'una si conosce quello dell'altra, il che si eseguisce ponendo pesi noti in un bacino, e nell'altro le sostanze da pesarsi; e quelli che faranno equilibrio con questa ne indicheranno il peso.

Perchè una bilancia sia giusta e perfetta, bisogna 1.° che le due braccia AP, PB sieno perfettamente eguali in lunghezza e in peso: eguali pure in lunghezza e in peso devono essere i fili o catenelle che reggono i bacini, ed eguali devon essere i bacini stessi: e si avverta inoltre che il flagello sia eguale in natura e in tempera in tutta la sua massa, affinchè sia uniformemente sensibile alle dilatazioni o contrazioni dipendenti dalla temperatura dell'aria; e tal precauzione è necessarissima, specialmente per le delicate bilance *da saggio*: 2.° che i punti di sospensione dei bacini sieno esattamente sulla stessa linea in cui si trova il centro di gravità del flagello, e sieno egualmente distanti da esso: 3.° che l'asta sia fatta un poco a forma di coltello, affinchè sia più difficile a piegarsi per lo sforzo dei pesi che sostiene, e affinchè il punto d'appoggio sia

più resistente: 4.° che il centro di gravità dell'asta sia un poco sotto il centro di moto, affinchè essa non sia eccessivamente mobile per la minima differenza di pesi.

36. Si dice *falsa* una bilancia in cui manchi qualcuna di queste condizioni, il che potrà verificarsi ponendo alternativamente i pesi e la mercanzia nell'uno e nell'altro bacino; e se la bilancia è giusta, quei pesi che formavano equilibrio in un caso, dovranno pure formarlo nell'altro. Nondimeno possiamo conoscere il vero peso d'un corpo, ancora con una bilancia falsa. Si ponga nel bacino D il corpo r da pesarsi, e nel bacino C il peso p che fa equilibrio con esso: per legge d'equilibrio (§. 31) avremo $p : r :: BP : AP$, ossia $\frac{p}{r} = \frac{BP}{AP}$ Si trasporti quindi in C il corpo, e in D il peso nuovo p' che fa equilibrio con esso, ed avremo $r : p' :: BP : AP$, cioè $\frac{r}{p'} = \frac{BP}{AP}$; dunque $\frac{p}{r} = \frac{r}{p'}$, e quindi $r = \sqrt{pp'}$; vero peso cercato del corpo.

Stadera.

37. La stadera è parimente una macchina che serve a equilibrare qualunque corpo per mezzo di un solo peso. Ancor essa è formata d'una leva di primo genere (*fig.* XXII), ma a braccia disuguali, e costruita in modo che il peso equilibrante può a piacere essere allontanato dal punto d'appoggio, o avvicinato ad esso per formare l'equilibrio col corpo di cui si cerca il peso. A tal effetto, dal braccio più corto AE dell'asta pende un uncino o un bacino C, che serve e sostenere le materie da pesarsi, e sul braccio più lungo EB scorre il peso costante P, che si chiama *Romano*, il quale deve formar l'equilibrio con la materia pesata.

Per stabilire la legge d'equilibrio in questa macchina bisogna determinare i punti di divisione del braccio più lungo EB, sui quali deve porsi il romano per formar l'equilibrio con la materia da pesarsi, e indicarne quindi il peso.

Sia ora N il centro di gravità del braccio EB, e G rappresenti il peso di essa, riunito in questo punto. Sia H il centro di gravità del braccio minore, e F ne rappresenti il peso; e sia C il peso degli uncini o del bacino, il qual peso opera nella direzione verticale AC. Si ponga ora nel bacino un corpo Q, e supponiamo che per aver l'equilibrio si debba porre in a il peso costante P; avremo $Q : P :: Ea : EA$; dunque $Q \times EA = P \times Ea$: ma $F \times EH + C \times EA$ rappresenta il peso che gravita sul

braccio minore, e $G \times NE$ rappresenta il peso che gravita sul braccio maggiore, e la stadera era in equilibrio con se stessa, dunque aggiungendo queste due quantità eguali all' equazione trovata, avremo

I.ª $Q \times EA + F \times EH + C \times EA = P \times Ea + G \times NE$.

Si cambi ora la massa posta nel bacino, e vi si ponga invece un altro corpo Q', e sia b il punto dell' asta, in cui il romano faccia equilibrio col medesimo: nella stessa maniera avremo

II.ª $Q' \times EA + F \times EH + C \times EA = P \times Eb + G \times NE$.

Così mettendo successivamente nel bacino i corpi Q'', Q''', ec., che saranno equilibrati dal romano posto in c, in d, ec., avremo

III.ª $Q'' \times EA + F \times EH + C \times EA = P \times Ec + G \times NE$

IV.ª $Q''' \times EA + F \times EH + C \times EA = P \times Ed + G \times NE$.

Togliendo successivamente la prima equazione dalla seconda, la seconda dalla terza, la terza dalla quarta, ec., avremo

$$(Q' - Q)\, EA = P \times ab, \text{ e quindi}$$

$$ab = \frac{(Q' - Q)\, EA}{P} \text{: nello stesso modo}$$

$$bc = \frac{(Q'' - Q')\, EA}{P}$$

$$cd = \frac{(Q''' - Q'')\, EA}{P}$$

ec. ec.

Dunque 1.° se i corpi che si pongono nel bacino crescono in peso in progressione aritmetica, dimanierachè sia $Q' - Q = Q'' - Q' = Q''' - Q''$, ec., tutte le divisioni ab, bc, cd, ec. dell' asta saranno eguali fra loro: 2.° facendo ciascuna di queste parti ab, bc, ec. eguale al braccio minore EA della stadera, avremo $\frac{Q' - Q}{P} = 1$, ossia $P = Q' - Q$; $\frac{Q'' - Q'}{P} = 1$, ossia $P = Q'' - Q'$, ec.; cioè il contrappeso o romano sarà eguale alla differenza della progressione aritmetica delle materie successivamente pesate Q, Q', Q'', ec. 3.° Prendendo sul braccio maggiore EB porzioni eguali al braccio minore EA, con un dato peso applicato nei diversi punti di divisione, potremo equilibrare una serie di pesi 2P, 3P, 4P, ec.

Le prime divisioni poi si suddividono nuovamente in parti eguali, per equilibrare per esempio una libbra di peso, se la prima divisione rappresentava il peso di 10 libbre; un'oncia, se rappresentava una libbra, ec.

Se si riduca più corto il braccio minore, trasportando verso A il

punto d'appoggio, ed equilibrando il braccio allungato col romano posto a una proporzionata distanza, potremo servirci della stadera, rivoltandola, come suol dirsi, per pesare masse molto più considerevoli, perchè crescendo in lunghezza il braccio a cui è applicata la potenza equilibrante, questa diviene maggiore, e può quindi equilibrare masse maggiori; e a questo fine si dividerà la costola opposta dell'asta, proporzionatamente al nuovo peso del braccio variato.

Da tutto questo apparisce chiaro l'uso vantaggioso di questa macchina, preferibile alla bilancia per pesare grandi masse, perchè in questa il flagello è sempre aggravato dal peso della materia da pesarsi e da un contrappeso eguale, mentre nella stadera non è aggravato che dal peso della materia, e dal semplice peso del romano: dunque in questo caso è meno flessibile l'asta, il punto d'appoggio è meno aggravato, e però è più libera la leva nei suoi moti, ec.

Puleggia.

38. La puleggia è un piano circolare, mobile sopra un asse che passa a traverso del suo centro, e scanalato nella grossezza della sua circonferenza, per ricevere una corda, alle estremità della quale si applicano una resistenza e una potenza. La puleggia è *fissa* se ha solamente un moto di rotazione intorno al suo asse, ed è *mobile* se oltre quel moto ha ancora un moto di traslazione.

Sia A (*fig.* XXIII) una *puleggia fissa*, per mezzo della quale si voglia equilibrare la potenza P con la resistenza R: qual sarà la legge d'equilibrio per questa macchina? Il semicircolo inferiore mTn non contribuisce nulla all'azione, e possiamo ancora non aver riguardo neppure al semicircolo superiore, il quale non fa che sostenere la corda; sicchè se questa si fissi sulla scanalatura, non accade verun cambiamento nel sistema, e però possiamo riguardarla come fissata nei punti m, n, e quindi riguardare la potenza P come applicata in n, e la resistenza R come applicata in m; e poichè la ruota gira intorno al centro O, O rappresenterà il punto d'appoggio: dunque questa macchina è simile a una leva di primo genere, e però avremo la proporzione $P : R :: mO : nO$: ma $mO = nO$, dunque $P = R$, *dunque per ottener l'equilibrio con una puleggia fissa, la potenza deve essere eguale alla resistenza.* Dunque questa macchina è utile soltanto per il comodo dell'applicazione della potenza, e non per il risparmio della medesima. Se la potenza operi in direzione obliqua alla puleggia, come P', è chiaro che essa dovrà esser maggiore, perchè la sua vera distanza $O\pi$ dal punto d'appoggio in questo caso è minore che nel precedente (§. 33). Quindi volendo soste-

nere o ancora sollevare un peso in questa maniera, facciamo maggiore sforzo quando non possiamo muovere le braccia in direzione parallela all'altra corda.

39. Sia B (*fig.* XXIV) una puleggia mobile, la corda PTQ sia fissata per un'estremità in Q, la potenza P applicata all'altra estremità, e la resistenza R appesa alla puleggia, e ambedue i bracci o rami della corda sieno paralleli fra loro e alla direzione della resistenza. Come nel caso precedente, così in questo, i due emisferi non contribuendo nulla per se stessi all'equilibrio, potremo considerare P come applicata in n, il punto d'appoggio Q come applicato in m, ed R come applicata o come se gravitasse soltanto nel centro O: sarà dunque P : R :: om : nm :: 1 : 2: dunque *per ottener l'equilibrio con una puleggia mobile, basta che la potenza sia suddupla della resistenza.*

40. Ma se le direzioni della potenza e della resistenza non son parallele, la legge d'equilibrio sarà diversa. Infatti sia C (*fig.* XXV) una puleggia mobile, e Pn, Qm sieno le direzioni o bracci della corda, e OR sia la solita direzion verticale della resistenza. La potenza P, e il punto d'appoggio Q potranno al solito riguardarsi come applicati nei punti di contatto n, m della corda con la puleggia, e R come applicata in O fra m ed n; e qui, come nel caso precedente, vediamo una leva di secondo genere. Prolungate le linee di direzione delle potenze, mRn sarà l'angolo della loro inclinazione che chiamo x, il quale sarà diviso in mezzo da RO, perchè nel caso d'equilibrio le due forze sono eguali, e però la resultante è nel mezzo ad esse: mO sarà la distanza della resistenza dal punto d'appoggio, e la distanza della potenza dal medesimo sarà la perpendicolare mp, condotta dal punto d'appoggio sulla direzione di essa: dunque P : R :: mO : mp: ma mO è il seno dell'angolo $m\mathrm{RO} = \frac{x}{2}$, e mp è il seno dell'angolo mR$n = x$, dunque P : R :: sen $\frac{1}{2}x$: sen x; cioè *quando in una puleggia mobile le direzioni delle forze non sono parallele, la potenza sta alla resistenza, come il seno della metà del loro angolo d'inclinazione sta al seno dell'angolo intero.*

Per la pratica si osservi che è più utile e più sicuro il far girare con la puleggia il suo asse, fissato nel centro, di quello che far girare la puleggia sopra un asse immobile, perchè in questo caso il foro centrale della ruota aggravato sempre dall'alto al basso, diventa ben presto irregolare, e così si altera la regolar distanza relativa delle forze dal punto d'appoggio; mentre nell'altro caso si evita questo inconveniente, poichè l'asse gira con le sue estremità esattamente rotonde e levigate negli *occhi* di due sostegni, il peso delle forze gravita su queste estremità egualmente, e però quando pur esse soffrano un'alterazione, e con il

loro attrito logorino gli occhi stessi, tal' alterazione è uniforme; sicchè le distanze delle forze dal centro restano sempre le stesse.

41. Si può egualmente comporre un sistema di pulegge, per equilibrare grandi masse con piccole forze. Fra varie maniere in cui possono combinarsi questi sistemi, ne accenneremo due che sono le più comode e le più usate. E primieramente sia la resistenza R attaccata a una puleggia mobile C (*fig.* XXVI): questa è abbracciata da una corda Ep Do, che con un' estremità è fissata in o a un asse immobile AB, e con l'altra è attaccata ad un'altra puleggia mobile F: questa pure è abbracciata da un'altra corda, fissata per un capo a un punto n nell'asse medesimo, e attaccata con l'altro capo a un'altra puleggia mobile S, ec.; e in fine, all' estremità della corda dell' ultima puleggia è applicata la potenza, o immediatamente in P, per tirare dal basso in alto, oppure in P' per mezzo di una puleggia fissa x, per tirare più comodamente dall'alto in basso. Riguardando primieramente come separata dal sistema la puleggia C, potremo considerare la potenza come applicata in E, la resistenza in C, e il punto d'appoggio in D (§. 38); e chiamando p la potenza che farebbe equilibrio in E, avremo R : p : : ED : CD. In E la potenza divien resistenza, relativamente alla seconda puleggia; e chiamando p' la nuova potenza applicata in H avremo p : p' : : HG : FG. Finalmente p' : P : : PM : LM; e componendo queste varie proporzioni, avremo R : P : : ED×HG×PM : CD×FG×LM : : 2. 2. 2 : 1. 1. 1; e in generale chiamando n il numero delle pulegge, sarà sempre R : P : : 2^n : 1^n. È questa una macchina utilissima, perchè risparmia moltissima potenza al primo agente, per mezzo della composizione di varie pulegge, che formano una specie di leva composta.

In altra maniera si può comporre un sistema di pulegge, cioè formando due sistemi di pulegge unite, ossia due *taglie*, una fissa A per la potenza, e l' altra B mobile per la resistenza (*fig.* XXVII), in modo che tutte le pulegge sieno abbracciate da una corda stessa, a un' estremità della quale è applicata la potenza P, e l' altra è fissata in un punto della taglia superiore o inferiore. In due modi parimente può costruirsi questa macchina, cioè o con tutte le pulegge d' una taglia di egual diametro e infilzate in un asse comune (*fig.* XXVII), oppure con pulegge che hanno i loro centri sopra una medesima linea retta verticale (*fig.* XXVIII); e in questo caso i loro diametri, partendo dal punto di quella dove è fissata la corda, crescono in progressione aritmetica, che ha per differenza il diametro della puleggia minore. La legge d'equilibrio in questi due sistemi è che la potenza sta alla resistenza in ragione del numero delle corde; sicchè, per esempio, in un sistema di tre pulegge per taglia, la potenza sarebbe $\frac{1}{6}$ della resistenza. Questo

vantaggio è un poco minore di quello che si ottiene dalla *fig* XXVI, ma la disposizione è assai più comoda di quella, perchè in quella si richiede troppo spazio, mentre per far percorrere alla prima puleggia un certo spazio, è necessario far percorrere alla seconda uno spazio doppio, alla terza uno spazio quadruplo, ec. Delle altre due disposizioni, quella della *fig.* XXVII è la più usata e la più comoda, perchè dà alla macchina il minimo volume possibile.

Asse nella ruota.

43. L'*asse nella ruota* è una macchina che consiste in una ruota M (*fig.* XXIX) o *tamburo*, e in un asse o *sala* AB concentrica, e che gira insieme con esso; e questa macchina serve per elevare o per trasportare grandi masse, secondo il modo con cui ce ne serviamo. Si fissa all'asse un'estremità di una corda all'altra estremità della quale è attaccata la massa R da equilibrarsi o da muoversi, e quindi si applica la potenza in un punto C della ruota per farla girare, e girando con essa la sala, viene alzata la massa R. È chiaro che questa macchina rappresenta una leva di 2°. genere, giacchè il centro di moto O è il punto d'appoggio di tutto il sistema, la potenza si riguarda come applicata nel punto C della circonferenza del tamburo, e la resistenza a un punto p della circonferenza dell'asse: dunque avremo P : R :: pO : CO, cioè *la potenza sta alla resistenza, come il raggio dell'asse al raggio della ruota*, quindi $P = R \times \frac{pO.}{CO}$ cioè la potenza che farà equilibrio in questa macchina sarà tanto minore, quanto minore sarà il raggio dell'asse, e quanto maggiore sarà il raggio della ruota.

44. A questa macchina si riferisce il *verricello* (*fig.* XXX), nel quale all'asse orizzontale è applicata una corda che porta la resistenza, come nell'asse nella ruota, e la potenza P è applicata a una manovella PQ, per mezzo della quale si fa girar l'asse, e così il peso vien tirato verticalmente. Volendo ottenere maggior effetto, si applicano due potenze a due manovelle poste alle estremità dell'asse in modo opposto, sicchè mentre una nel girare va dal basso in alto, cioè fa il massimo sforzo, l'altra va dall'alto in basso, cioè fa lo sforzo minimo. Questa macchina si chiama *argano* (*fig.* XXXI) quando l'asse è verticale, e il peso vien tirato orizzontalmente. Nell'una e nell'altra disposizione di questa macchina, il braccio della manovella o leva rappresenta il raggio di una ruota, come nella macchina precedentemente osservata; dunque la legge d'equilibrio è la stessa. Nell'argano, oltre il poter accrescere la lunghezza della leva per economizzar la potenza, si possono ancora applicare più leve, e così ottenere un effetto considerevolissimo.

Ruote dentate.

45. Ancora le ruote dentate si riferiscono all' asse nella ruota. Si sa che i denti son parti salienti con cui le ruote *ingranano* le une nell'altre, e si trasmettono l'azione della forza motrice. Ordinariamente si dispongono concentriche sul medesimo asse due ruote, una grande e una piccola che si chiama *rocchetto*. Vediamo qual sia la legge d'equilibrio in un sistema di ruote così combinate. Sieno per esempio (*fig.* XXXII) tre ruote A, B, C, e a, b, c, i loro rocchetti; e chiamiamo D, D', D'', i raggi delle ruote, d, d', d'' i raggi dei rocchetti corrispondenti: al primo rocchetto o cilindro a sia attaccata la massa R da sollevarsi, e all'ultima ruota C si applichi la potenza P. È certo che la prima resistenza che la potenza trova nell'operare, è nel primo ingranamento x del rocchetto c con i denti della ruota B: chiamiamo E questa resistenza che si oppone alla potenza in questo punto, e avremo, per la solita legge, $P : E :: d'' : D''$. In x la resistenza diventa potenza, come osservammo nella leva composta e in un sistema di pulegge, e quindi produrrà un altro effetto E' nel susseguente punto d'ingranamento y del rocchetto b con la ruota A, e avremo $E : E' :: d' : D'$; e finalmente avremo nella stessa maniera, $E'' : R :: d : D$; e componendo, verrà $P : R :: d'' \times d' \times d : D'' \times D' \times D$, ossia $P = R \times \frac{d''.d'.d}{D''.D'.D}$; cioè *in un sistema di ruote dentate la potenza sta alla resistenza, come il prodotto dei raggi dei rocchetti al prodotto dei raggi delle ruote*; e quindi apparisce che tanto minore sarà la potenza per equilibrare R, quanto più piccoli saranno i raggi dei rocchetti, e quanto saranno più lunghi i raggi delle ruote.

46. Utilissima è questa macchina nei mulini, nei filatoii, ec.; e poichè il buon effetto di essa dipende in gran parte da una determinata celerità, secondo l'oggetto che ci proponiamo nell'uso di essa, vediamo come possa determinarsi questa celerità con un sistema dato di ruote, o come debba comporsi questo sistema per ottenere una celerità voluta: e poichè la celerità dipende dal numero dei giri che in un dato tempo deve fare l'ultima ruota efficace della macchina, determiniamo questo numero di giri almeno in un caso, che possa servir d'esempio per qualunque applicazione.

Sia un sistema di ruote dentate A, B, C, D con i loro rocchetti, e di diverso numero di denti (*fig.* XXXIV), e la prima ingrani col rocchetto b della seconda, questa col rocchetto c della terza, e così di seguito: A. B. C. D esprimano il numero dei denti di ciascuna ruota, b, c, d, e il numero dei denti o *ale* di ciascun rocchetto. Chiamiamo

inoltre N, N', N'', N''' il numero dei giri che fanno le ruote nel tempo stesso: i rocchetti faranno un numero di giri eguale a quello delle ruote alle quali appartengono; e chiamiamo N^{IV} il numero dei giri dell'ultimo rocchetto *e*. È certo che se la ruota A in un giro ingrana una volta tutti i suoi denti con l'ale del rocchetto *b*, in N giri ne ingranerà un numero $A\times N$; e se il rocchetto *b* ingrana una volta le sue ale nei denti di A, in un giro della ruota B di cui esso è parte, in N' giri che essa faccia, le ingranerà un numero di volte espresso da $b\times N'$: ma quante volte esso ingrana le sue ale fra i denti di A, altrettante A ingrana i suoi denti fra l'ale di esso, dunque $A\times N = b\times N'$. Per la stessa ragione sarà $B\times N' = c\times N''$, $CN'' = d\times N'''$, $D\times N''' = e\times N^{IV}$ ec.: dunque

$N : N' :: b : A$

$N' : N'' :: c : B$

$N'' : N''' :: d : C$

$N''' : N^{IV} :: e : D$; e componendo, sarà

$N : N^{IV} :: b\times c\times d\times e : A\times B\times C\times D$, ossia

$\frac{N^{IV}}{N} = \frac{A\times B\times C\times D}{b\times c\times d\times e}$; dal che si vede 1°. che dato il numero di giri della prima ruota motrice, il numero dell'ultima ruota o dell'ultimo rocchetto è in ragione composta diretta del prodotto del numero dei denti delle ruote, e inversa del prodotto del numero dell'ale dei rocchetti; 2° che con questa formula, conoscendo N^{IV} si può trovare qual numero di denti debba avere una ruota o un rocchetto, o ignoto o mancante, per ottenere il voluto effetto. 3°. che non importa determinare il numero di denti d'ogni ruota o d'ogni rocchetto in particolare, e quindi si può cambiare a piacere qualche ruota o qualche rocchetto, purchè il prodotto di tutti resti costante, ossia purchè il rapporto del prodotto di tutte le ale al prodotto dei denti, resti eguale al rapporto di N ad N^{IV}: Per esempio, supponiamo che mentre la ruota A fa un giro, il rocchetto *e* ne faccia 4: sarà $\frac{N}{N^{IV}} = \frac{1}{4} = \frac{b.c.d.e}{A.B.C.D}$, ossia A. B. C. D $= 4.\ b.c.d.e$. E se diamo a piacere 4 denti al primo rocchetto, 6 al secondo, 8 al terzo, 10 al quarto, sarà A B C.D $= 4.4.6.8.10 = 7680$; e decomponendo questo numero in 4 fattori, questi rappresenteranno i denti di ciascuna delle ruote A, B, C, D: ma questi fattori, presi dai divisori di detto numero possono essere 6. 8. 10. 16, oppure. 4. 8. 10. 24. ec.; dunque è indifferente la formazione delle ruote e dei rocchetti, purchè sia fissa l'identità dei prodotti: 4°. che volendo variare l'effetto, o produrne uno nuovo, basterà mettere in questa formula una nuova combinazione, secondo

l'effetto che si desidera. Su questi principii, è fondata tutta l'arte dell'orologeria.

47. In tutte le macchine che si riferiscono all'asse nella ruota, abbiamo supposta costante e sempre eguale la potenza, egualmente che la resitenza. Ma se in qualche caso, restando questa costante, quella sia variabile, per ottener l'equilibrio bisognerà variare la velocità di essa in tal proporzione, che venga a compensarsi la sua varietà. Su questo principio è fondato il meccanismo degli orologii ordinarii a molla. Il principio motore in questa macchina è una lama elastica d'acciaio, piegata a spirale sopra se stessa, e chiusa in un *barilotto* o *tamburo* A B (*fig.* XXXIV), che può girar liberamente intorno ad un asse immobile OV, che è situato verticalmente a traverso di esso. Questa lama è fissata con un'estremità all'albero OV, e con l'altra alla superficie concava del tamburo. Alla superficie convessa del medesimo è attaccata una catena, che con l'altra estremità è fissata alla base inferiore d'un *cono sfusato* ML, a traverso del quale passa una verga quadrata o *albero*, fisso al medesimo, sicchè forma con esso un sol corpo. Per *caricare* l'orologio, cioè per metterlo in azione, si fa girare il cono per mezzo d'una *chiave* che si incastra nella testa G dell'albero, il qual cono girando in tal modo, avvolge intorno a se stesso la catena, e quindi fa girare il tamburo intorno al suo asse OV, il qual tamburo non può tornare indietro, se il cono cessi di tirare a se la catena, perchè glielo impedisce una ruota dentata destinata a questo oggetto. In tal'operazione la lama si piega intorno al medesimo asse, e quindi viene ad accrescersi la sua forza di tensione, dimanierachè questa è massima quando la catena è arrivata a fasciare il circolo di minor diametro MI del cono. Quando l'orologio è totalmente caricato, ossia quando tutto il cono è fasciato dalla catena, il tamburo gira in parte contraria per effetto della forza elastica della lama, e fa girare da questa medesima parte il cono, il quale per mezzo della ruota dentata KL, fissata alla sua base inferiore, trasmette il moto a tutte le ruote che compongono l'orologio. A misura che la molla si dilata o si rilassa, e quindi a misura che scema la sua forza elastica, la catena si trova applicata a circoli del cono sempre maggiori, e però la forza della molla si trova applicata a un più lungo braccio di leva, e quindi guadagna, per parte dell'allontanamento dal punto d'appoggio, ciò che perde in potenza per effetto della sua dilatazione; e quindi il *momento* della forza motrice, relativamente all'asse FG del cono, è sempre lo stesso.

Piano inclinato.

48. Si chiama *piano inclinato* qualunque piano che fa un angolo non retto con l'orizzonte: se l'angolo è infinitesimo, il piano si confonde con l'orizzonte stesso, e se è retto, il piano è verticale; dunque fra questi due limiti è compresa qualunque inclinazione. Un tal piano serve come macchina per sostenere una porzione della gravità dei corpi, tanto per trasportarli quanto per ritardarli o trattenerli.

In due modi possiamo in questa macchina applicar la potenza, cioè o in direzione parallela al piano inclinato, o in direzione parallela all'orizzonte.

Sia ABC il piano inclinato (*fig.* XXXV), R la massa da equilibrarsi, P la potenza che opera nella direzione PR parallela al piano inclinato. Supposto in R il centro di gravità del corpo, Rq perpendicolare all'orizzonte sarebbe la linea naturale di direzione di esso. Conducendo da R la Rm perpendicolare al piano, e da m la mn perpendicolare alla verticale Rq, apparisce in questa macchina una leva di primo genere, in cui il punto m è il punto d'appoggio, mR è un braccio, all'estremità R del quale è applicata la potenza P, ed mn è l'altro, nell'estremità n del quale può considerarsi come riconcentrata la resistenza R. Avremo dunque per la nota teoria della leva, P : R : : nm : mR : ma i triangoli nmR, ABC son simili, perchè hanno i loro lati omologhi perpendicolari, dunque nm : mR : : AB : AC; dunque P : R : : AB : AC, e quindi $P = R \times \frac{AB}{AC}$: dunque *nel piano inclinato, la potenza quando opera parallelamente ad* esso *sarà tanto minore, quanto minore sarà l'altezza del piano stesso, relativamente alla sua lunghezza.*

49. La potenza P venga cambiata in P', e operi sul corpo nella direzione P'R parallela all'orizzonte. Restando la stessa costruzione di prima, conduco mo perpendicolare alla nuova linea di direzione, ed avrò al solito una leva in cui m sarà il punto d'appoggio, la potenza si riguarderà come applicata all'estremità o del braccio om, e la resistenza all'estremità n dell'altro braccio nm; avremo dunque P' : R : : nm : mo: e poichè i triangoli o Rm e ABC son simili perchè hanno i loro lati omologhi perpendicolari, avremo oR $(=mn)$: om : : AB : BC, e quindi P' : R : : AB : BC, ossia $P' = R \times \frac{AB}{BC}$: dunque in questo caso *la potenza sarà tanto minore, quanto minore sarà l'altezza del piano, relativamente alla sua base.*

Cuneo.

50. Il *cuneo* è un prisma triangolare ABCDEF (*fig.* XXXVI) che impiantiamo a forza di colpi in un' apertura preparata, per spaccare un corpo, ossia per separarne o slontanarne le parti. Si chiama *testa* del cuneo la base ABCD che riceve il colpo; si chiama *taglio* la costola EF con cui il cuneo comincia a introdursi in un corpo, e lati si chiamano le facce parallelogramme ABFE, ec.

Senza entrare in particolari osservazioni relativamente ai varii corpi, nei quali la spaccatura o segue immediatamente o precede l' arrivo del *taglio* del cuneo, osserviamo in generale in qual modo questa macchina giovi alla potenza. L' adesione che tiene unite le molecole d' un corpo, è la resistenza che il cuneo deve vincere, la qual resistenza cede tanto più, quanto più il cuneo si introduce nel corpo stesso; ma a misura che vi si introduce, opera contro l' adesione con una base gradatamente crescente, dunque lo slontanamento delle parti è misurato dalla larghezza AD della base della macchina, ossia la base del cuneo rappresenta lo spazio percorso dalla resistenza. Lo spazio poi percorso dalla potenza è misurato dalla lunghezza della porzione di cuneo introdotta. Ma le potenze e le resistenze sono in ragione reciproca degli spazii percorsi, dunque ancora in questo caso *la potenza sta alla resistenza come la base del cuneo sta alla sua lunghezza.*

Dall' essere l' angolo del taglio del cuneo tanto più acuto quanto più lungo è il cuneo e quanto ne è minore la base, si deduce naturalmente la ragione per cui i migliori cunei son quelli che hanno il taglio più acuto. I coltelli, le forbici, i rasoii, e in generale tutti gli strumenti capaci di tagliare o di penetrare, si riferiscono a questa macchina.

Vite.

51. La *vite* è composta di due parti che girano una dentro all'altra, cioè 1.° un cilindro retto ABCD (*fig.* XXXVII) scanalato sulla superficie esterna in forma di spirale sporgente in fuori, in modo che gl' intervalli, detti *passi* della vite, fra due parti prominenti di essa, dette *pani* della vite, o *spire*, sieno sempre eguali: 2.° una *chiocciola* MN scanalata nella superficie interna in forma di spirale simile a quella della vite, ma scanalata in modo contrario, cioè in modo che ogni passo dell' una corrisponda a un pane dell'altra. Ad una faccia NO della chiocciola è applicata

una leva PQ, per mezzo della quale agisce la potenza P. Delle due parti componenti la vite, una è fissa, e l'altra è mobile, e la potenza o fa girare la vite nella chiocciola, o la chiocciola nella vite, secondo l'uso per cui vogliamo servircene Questa macchina serve per lo più ad esercitare una forza di pressione, ma può servire egualmente a sollevare una massa attaccata alla parte mobil e.

Per conoscere la legge d'equilibrio in questa macchina, basta osservare, che nel tempo che la potenza impiega a percorrere la circonferenza del circolo che ha per raggio la manovella PQ, la resistenza di cui la chiocciola è sempre una parte, percorre uno spazio eguale all'intervallo fra due spire della vite: dunque la velocità della potenza è rappresentata dalla circonferenza del circolo percorso, e l'intervallo fra due spire della vite rappresenta la velocità della resistenza nel tempo stesso: dunque *nella vite la potenza sta alla resistenza, come l'intervallo di due spire sta al circolo che ha per raggio la manovella*; cioè la potenza sarà tanto minore quanto più stretti saranno i passi della vite, e quanto più lungo sarà il braccio della manovella.

Vite perpetua.

52. Se invece d'una chiocciola sia una ruota dentata M (*fig.* XXXVIII) che con i suoi denti ingrani fra i passi di una vite AB, mobile intorno ad un'estremità A, e messa in moto da una potenza P applicata a una manovella posta all'altra estremità B, e se la vite così mossa faccia girare la ruota col suo asse C, a cui per mezzo d'una corda CR è attaccato un peso R, ne nasce una macchina che si chiama *Vite perpetua*. È chiaro che questa è composta della vite e dell'asse nella ruota, e però composto e moltiplicato sarà l'effetto che essa produrrà. Se per esempio la manovella PB sia braccia 2, e sia 1 soldo la distanza fra due passi della vite, chiamando E l'effetto prodotto con questo mezzo, ossia la resistenza equilibrata da P nel punto di ingranamento della ruota con la vite, per legge d'equilibrio nella vite stessa avremo P : E :: 1^s : 40^s. Ora E diventa potenza, relativamente all'asse nella ruota: se dunque il raggio della ruota sia per esempio 1 braccio, e il raggio del cilindro sia 4 soldi, per legge d'equilibrio nell'asse nella ruota avremmo E : R :: 4 : 20; dunque, componendo, avremo P : R :: 4 : 800 :: 1 : 200.

Di qui pure si deduce, che aggiungendo un'altra ruota dentata o un rocchetto, arriveremmo a superare moltissima resistenza con una potenza tenuissima.

Macchina animale.

53. La più bella fra tutte le macchine è sicuramente la macchina animale, e specialmente l'umana. Gli animali bruti son capaci di esercitare ordinariamente due specie di forza, cioè portare e strascinare; e qualche volta son utili ancora per un terzo genere di forza, cioè col pestare con i piedi, al qual uso sono impiegati nelle grandi aie per *battere* le biade, e spogliarle delle loro vesti per ridurle ai nostri usi. L'uomo, considerato anco sol come macchina, ha una facoltà molto più perfetta, e molto più varia, giacchè come dotato di volontà può modificar la sua forza a piacere, e inoltre, come più perfettamente organizzato, può esercitarla in qualunque modo, dall'alto in basso, dal basso in alto, obliquamente, circolarmente, ec. ec. Appunto però perchè è tanto variabile la forza dell'uomo, ed è varia inoltre nei diversi individui, è difficile determinare con precisione le leggi generali, le quali non possono resultare che dall'esperienza. Per quanto importa a noi, che ci limitiamo soltanto a indicare i principii delle utili applicazioni meccaniche, basti il sapere, che dalle esperienze di molti fisici, e specialmente di Amontons, di Coulomb, di De-la-Hire, e di Belidor resulta, che la forza d'un uomo medio e in quanto all'età e in quanto alla robustezza, è

nel pigiare . . . . di ℔	50	in circa
nello strascinare senza ruote	180	
nel sollevare	380	
nel reggere	440	

Nello strascinar con le ruote può crescere moltissimo la potenza dell'uomo, dipendentemente da tutte le circostanze che accompagnano questo genere d'azione. In generale l'*azione giornaliera* dell'uomo è valtutata circa ℔ 420, intendendo per azione giornaliera la pressione che egli esercita, e il tempo per cui dura l'azione; la qual quantità può essere rappresentata da un peso che cade da una certa altezza in un tempo dato.

Son queste le macchine più comuni; e conoscendo l'uso e la legge d'equilibrio di queste, possiamo direttamente o indirettamente conoscere l'uso e la legge d'equilibrio d'ogni altra macchina semplice, e di tutte quelle che potrebbero comporsi, combinando insieme alcune delle semplici. Solamente si osservi in generale 1.° che ciò che per mezzo delle macchine guadagnam o per parte della potenza, lo perdiamo per lo più per parte del tempo, il che si osserva nella leva, nella puleggia, nella

vite, nel piano inclinato ec.; ed è questa la ragione per cui per ridurre una salita più comoda la facciamo più tortuosa e quindi più lunga. La natura stessa ci mostra una prova di ciò negli organi del moto di tutti gli animali; poichè in essi i muscoli, ossia gli organi del moto, hanno i loro punti d'attacco sulle ossa nei punti più vicini alle articolazioni, intorno alle quali devon girare le ossa medesime, quando si contraggono i muscoli, e quindi l'altra estremità delle membra percorre uno spazio in proporzione grandissimo. 2.° Che se abbiamo bisogno di una gran velocità, possiamo ottenerla applicando la potenza alla minor distanza dal punto d'appoggio; e le macchine sono vantaggiose appunto, perchè ci presentano un mezzo di accrescere, secondo il bisogno, o la massa o la velocità per muovere un corpo con una data forza. 3.° Che quando due forze sono in equilibrio, per poco che se ne accresca una, essa prevale sull'altra: anzi in pratica si trova in generale, che per vincere una resistenza basta accrescere la potenza $\frac{1}{3}$ di essa; sicchè se una potenza 6 basta a far equilibrio a una resistenza 6, una potenza $6 + \frac{6}{3} = 8$ basterà a vincerla. 4.° Ma in questo calcolo bisogna necessariamente prendere in considerazione, oltre la resistenza del peso, quella che viene opposta alla potenza per parte dell'*attrito*.

Attrito.

54. Per quanto lisce e levigate apariscano all'occhio le superficie dei corpi, non ve n'è alcuna che, osservata attentamente col microscopio, non presenti moltissime scabrosità o particelle salienti, e quindi moltissime sinuosità o pori; sicchè strisciando fra loro due superficie, le prominenze dell'una ingraneranno in certo modo fra le cavità dell'altra, finchè con prolungate e ripetute confricazioni esse non vengano a consumarsi, e le superficie divengano in tal modo più levigate: quindi è necessaria una potenza per vincere questa resistenza che oppongono tali particelle con la loro reciproca azione, la qual resistenza è quella appunto che si chiama *attrito*.

L'attrito è di due specie: o tutte le parti prominenti di una superficie si insinuano successivamente nelle cavità dell'altra, come quando facciamo percorrere una superficie sull'altra, e questo si chiama *attrito di primo genere*, o *dei corpi striscianti*: o le varie parti dell'una si insinuano successivamente nelle varie parti dell'altra, come quando un corpo rotola sopra un piano, e questo si chiama *attrito di secondo genere* o *dei corpi rotolanti*. L'attrito di primo genere è molto più considerevole di quello di secondo, perchè nel primo caso non possiamo fare strisciare un corpo sopra una superficie, se non sollevandolo alquanto

verticalmente, per estrarre dalle cavità di quella le parti prominenti di questo, o spezzando queste parti medesime con un moto ad esse verticale; mentre nel secondo caso il moto di rotazione tende per se stesso a distrigare le prominenze del corpo dalle cavità della superficie sulla quale esso rotola, e fa strisciare un corpo come sopra un piano inclinato. Accade pure talvolta, che questi due generi d' attrito sono riuniti, e in tal caso è chiaro che l' ostacolo opposto da questo attrito composto deve esser maggiore: tale è l' attrito della *sala* d' una ruota col suo *mozzo*.

Dalla distinzione dei due generi principali di attrito, si deduce la ragione per cui un corpo che rotola sopra un piano è assai più veloce d'un corpo che striscia sul medesimo. Si deduce pure da questa osservazione il modo di facilitare il trasporto di alcuni corpi, riducendo, per economia di potenza, l'attrito di primo ad attrito di secondo genere, come pure di ritardarne il moto, ove bisogni, riducendo l' attrito di secondo genere ad attrito di primo. Così per trasportare per un piano orizzontale o inclinato un gran peso, si pongono sulla strada che esso deve percorrere, varii cilindri o spianatoii, affinchè il corpo vada ruzzolando invece di strisciare; così al contrario facciamo uso della *scarpa*, che sottoponiamo alla ruota in una ripida scesa, perchè cambiando così l' attrito di secondo genere in attrito di primo, ritardiamo il moto della ruota, che senza questo compenso farebbe forse ruzzolare precipitosamente la carrozza.

Ancora in proposito d'attrito sono state fatte moltissime esperienze per determinarne le leggi, le quali però non sono state determinate che approssimativamente. In generale è certo che l'attrito è in ragione 1.° del genere dell'attrito; 2.° della scabrosità delle superficie, come resulta dalla definizione; 3.° dell' estensione delle superficie confricate, perchè dove sono più particelle salienti, più sono gli ostacoli da vincersi; 4.° della pressione, perchè quanto più profondamente le parti salienti di una superficie si internano nelle cavità dell' altra, tanto è più faticoso l' estrarle; 5.° della velocità, perchè maggior numero di ostacoli di questo genere incontra la potenza in breve tempo; ma è ben vero però che la velocità stessa la quale è un elemento della forza ($F=MV$) (§. 58. 2.ª legge), è un compenso in gran parte contro questo aumento d' ostacolo; 6.° della durata d' applicazione di due superficie fra loro, perchè quanto più una superficie sta applicata sopra un' altra, tanto più tempo dura l' azione del peso della superficie soprapposta, e quindi possono più profondamente ingranarsi fra loro le scabrosità; 7.° finalmente l' attrito sarà maggiore fra superficie omogenee, perchè essendo più simmetrica la disposizione delle loro parti, più facili e in maggior numero saranno le combinazioni delle parti salienti e delle cavità reciproche di

esse, mentre deve accadere l'opposto fra superficie eterogenee, e però a circostanze eguali l'attrito in questo caso sarà minore.

55. Per i *pernii* che girano nei loro occhi, l'attrito dipende 1.° dalla pressione, 2° dalla natura dei corpi: per esempio il granato presenta minore attrito del vetro: 3.° dalla figura della punta, che soffrirà tanto meno attrito quanto sarà più acuta sempre però in proporzione della pressione. Quindi in macchine di molta esattezza e delicatezza, sceglia-mo le materie più levigate e più dure, come l'acciaio e il diamante, perchè l'attrito sia minore, e il moto più libero e più uniforme.

Per scemare e ridurre ancora insensibile l'attrito, si ungono o si *spalmano* i pezzi con materie untuose e grasse, le quali penetrando nelle piccole cavità dei corpi, ne spianano la superficie, e quindi non ha più luogo il reciproco ingranamento delle parti salienti.

Per la pratica, nell'uso delle pulegge si suol calcolare per pesi

da ℔ 1	a	℔ 500 attrito	$\frac{1}{3}$	del peso del corpo.
» 500		» 8000	$\frac{1}{4}$	
» 8000		» 10000	$\frac{1}{6}$	

dove si vede che nei pesi molto considerevoli l'attrito scema al crescere di quelli; paradosso meccanico utilissimo per le grandi operazioni, e di cui si intende facilmente la spiegazione. giacchè la massa col suo peso soltanto, indipendentemente dalla forza che la muove, basta a rompere quelle prominenze che produrrebbero l'attrito.

Nelle macchine in generale, nelle quali striscia pezzo con pezzo, abbiamo dalle esperienze

		attrito naturale	unti con sego
noce con *olivo* da	℔ 60 a ℔ 1000	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{9}$
	1000 . . 2500	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{14}$
ferro con *olivo*	. . . .	$\frac{1}{20}$	$\frac{1}{40}$
ferro con *ottone*	in pesi minori di ℔ 2000 . .	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{10}$
	in pesi di « 2500 . .	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{14}$
	in pesi maggiori	19	13
ferro o ottone con noce, quercia, olivo, legno-santo, ec.	. . . .	$\frac{1}{\infty}$	

II DINAMICA.

56. La *dinamica* è la scienza del moto, ossia quella parte di Meccanica che insegna a studiare le forze, quando dall'azione di esse resulta il moto dei corpi solidi, cioè il passaggio di essi da un punto in un altro dello spazio (§. 13). Se questo passaggio venga eseguito in modo che in tempi eguali il corpo percorra spazii eguali, il moto si dice *uniforme*; e se in tempi parimente eguali il mobile percorre spazii maggiori o minori, il moto si dice *accelerato* o *ritardato*, e in generale *moto vario.*

MOTO UNIFORME.

57. Qualunque corpo è per se stesso indifferente allo stato di quiete o di moto, in virtù della sua *inerzia*, che è quella specie di resistenza che esso oppone ad esser rimosso dallo stato in cui si trova (§. 15), e che è indipendente dalla sua gravità e dall'aria da cui è circondato: quindi ogni qualvolta gli venga impresso un moto qualunque, esso dovrà muoversi in linea retta, finchè non incontri un ostacolo che ne lo distolga, perchè la linea retta è la direzione della forza da cui fu messo in moto; e non potendo esso come inerte darsi o togliersi il moto, non potrebbe neppure per la stessa ragione cambiarselo.

Per calcolare la forza con cui si muove un corpo, e dedurne le leggi, bisogna osservare la *massa* del mobile, lo *spazio* che percorre, il *tempo* che impiega a percorrerlo, e la *velocità* con cui lo percorre.

La *massa* è la quantità assoluta e reale di materia che esiste in un corpo, indipendentemente dal suo volume, ossia dai limiti in cui è circoscritta la sua estensione.

Lo *spazio* è quell'estensione immensa, in cui concepiamo esistere tutte le cose; e se questa idea è astratta per se stessa, come astratte son tutte l'idee d'infinito, divien facile a comprendersi, se di questo *spazio assoluto* contempliamo una porzione limitata e commensurabile, chiamandola *spazio relativo*; e di questo conserviamo sempre l'idea, quando pur perdessimo l'idea di tutti i corpi contenuti in esso.

Dal veder le cose principiare e finire, deduciamo l'idea di successione, e da questa quindi deriva l'origine della prima idea del *tempo*. Dunque per *tempo* non si intende altro, se non che l'impressione che resta nella nostra memoria di una serie di avvenimenti, i quali siam certi che hanno avuta un'esistenza successiva.

La *velocità* o celerità è il paragone dello spazio percorso da un corpo, col tempo impiegato a percorrerlo. Se due mobili in tempi eguali percorrono spazii eguali, la loro celerità è uniforme; e si dice più celere quello che in egual tempo percorre maggiore spazio, o percorre eguale spazio in tempo minore.

Queste quantità che non sono esseri assoluti, ma son relative ad altre della stessa natura, che servono di unità, potranno sempre esser ridotte a numeri, e potranno quindi esser calcolate.

58. Per quanto la natura non ci presenti forse verun esempio di moto uniforme, giacchè infiniti sono gli agenti che tendono ad alterarlo, nondimeno poichè queste cause d'alterazione esistono egualmente per tutti i corpi, potremo pur fissarne una legge relativa al modo con cui un corpo si muove, e una relativa all'effetto finale che esso produce dopo il moto; e se non possiamo indicare un criterio della verità certa per fondamento di queste leggi, possiamo però con un'ammissibile ipotesi fondarle sulla supposizione di un moto realmente uniforme.

1.ª *Legge*. Poichè un corpo è tanto più veloce quanto più spazio percorre in un minor tempo, è chiaro che la velocità V d'un corpo è in ragione diretta dello spazio S percorso, e inversa del tempo T impiegato a percorrerlo: dunque facendo il paragone con un altro corpo che con la velocità v percorre uno spazio s nel tempo t, avremo sempre $V : v :: S\times\frac{1}{T} : s\times\frac{1}{t}$, ossia $V : v :: St : sT$. Da ciò si deduce 1.° che se le velocità sono eguali, cioè se $V=v$, sarà $S : s :: T : t$, cioè gli spazii percorsi sono proporzionali ai tempi: 2.° se $T=t$, le velocità sono in ragione degli spazii, $V : v :: S : s$: 3.° Se $S=s$ le velocità sono in ragione inversa dei tempi, $V : v :: \frac{1}{T} : \frac{1}{t}$: se gli spazii percorsi sono come i cubi dei tempi, cioè $S : s :: T^3 : t^3$, le velocità stanno fra loro come i quadrati dei tempi, $V : v :: \frac{T^3}{T} : \frac{t^3}{t} :: T^2 : t^2$. E supponendo al solito $v=1=s=t$, sarà $V=\frac{S}{T}$, e quindi $S=VT$, ossia *la velocità d'un corpo che si muove con moto uniforme, è rappresentata dal quoziente dello spazio diviso per il tempo; e lo spazio è espresso dal prodotto del tempo per la velocità* (§. 15).

2.ª *Legge*. Nell'imprimere il moto ad un corpo, o nello studiarlo già impresso, cerchiamo di conoscer l'effetto che esso produce, ossia la *forza* con cui giunge ad uno scopo. Questo effetto è proporzionale alla massa, perchè quanto è maggiore la massa d'un corpo, tanto maggiore è

il numero delle molecole che si muovono, e che giungendo allo scopo urtano in esso, e sopra esso esercitano una somma di impressioni: inoltre è proporzionale alla velocità comune a tutte le molecole: dunque *la forza è sempre rappresentata dal prodotto della massa per la velocità*, il qual prodotto si chiama *quantità di moto*. Dunque chiamando F, f le forze di due corpi, M, m le loro masse, V, v le loro velocità, sarà $F : f :: MV : mv$; dunque $Fmv = fMV$, ossia $F = MV$. Di qui abbiamo $V = \frac{F}{M}$, cioè la velocità è in ragion diretta della forza, e inversa della massa. E *se le masse sieno in ragione inversa delle velocità*, cioè se $m : M :: V : v$, ossia $MV = mv$, *le forze* rappresentate da questi prodotti eguali *saranno eguali*: e se $F : f :: M : m$, sarà $V = v$, cioè *se le forze son proporzionali alle masse, le velocità saranno eguali.*

59 Trovammo di sopra $V = \frac{S}{T}$: dunque sostituendo questa espressione nella formula delle forze, conosceremo queste forze ancora relativamente al tempo in cui una data massa si muove in un dato spazio, cioè $F = MV = \frac{MS}{T}$; e da queste due formule potremo conoscere la forza di un corpo di nota massa, conoscendone la velocità, o conoscendo lo spazio da esso percorso e il tempo impiegato a percorrerlo. Da esse, e particolarmente dalla prima, rileviamo, 1.° come non potendo imprimere al corpo molta velocità per ottenere un effetto voluto, possiamo supplire con accrescerne la massa. 2.° come da un corpo di piccola massa possiamo ottenere un effetto considerevole in quanto alla forza, sol che gli imprimiamo molta velocità. Così le palle da cannone o da bomba, piccole masse in paragone degli arieti degli antichi, producono effetti formidabili in virtù della gran velocità che possiamo imprimere ad esse: così facciamo penetrare profondamente un chiodo in un corpo, per mezzo di colpi di martello, il quale nel giungere al chiodo stesso ha una forza MV eguale al prodotto della sua massa per la velocità impressagli dal braccio; mentre non produrrebbe lo stesso effetto un peso considerevolissimo che operasse sul corpo con la sua natural gravità, perchè V essendo infinitesima o zero, piccolissimo sarebbe il valore dell' espressione MV, e quindi piccolissima la forza.

MOTO VARIO.

Qualunque moto non uniforme si dice *vario;* e secondo che gli spazii percorsi da un mobile in tempi eguali successivi son maggiori o minori, il moto si chiama *accelerato* o *ritardato*. Non possiamo concepir quest' idea senza immaginare una forza che venga costantemente rinnovata sul mobile, forza che sarà *acceleratrice* se ne accelera il moto e *ritardatrice* se lo ritarda. E poichè queste forze posson variare all' infinito, e la teoria di questa specie di moto non potendosi sviluppare senza l' uso di calcoli superiori ai limiti elementari che ci siamo prescritti, osserveremo soltanto il moto che varia con una legge costante e uniforme, cioè *il moto uniformemente accelerato*, *e il moto uniformemente ritardato*. Anzi considereremo soltanto il moto uniformemente accelerato, poichè tutto ciò che diremo di questo, si applicherà naturalmente all' altro in ordine inverso.

Moto uniformemente accelerato.

60. L'uniformità del moto accelerato consiste nell'eguaglianza di velocità che in tempi eguali naturalmente acquista un corpo; dimanierachè il numero degl'istanti scorsi dal principio dell'accelerazione, indica ancora il numero dei gradi di velocità acquistata; e quindi la velocità acquistata nell'accelerazione è proporzionale al tempo. Possiamo dunque rappresentare con linee e l' una e l'altro, come già fece Galileo, per scoprire la legge di questo moto.

61. Cada liberamente un corpo dal punto A (*fig.* XXXIX) in un tempo, per esempio in 1'', rappresentato da AB e cada con una velocità iniziale rappresentata da BV'. Conducendo AV', lo spazio triangolare ABV', rappresenterà lo spazio percorso da questo corpo, perchè AB rappresenta il tempo T, e BV' la velocità V; e però $ABV' = VT = S$ (§ 58, 1.ª legge). È naturale che in un secondo tempo BC il corpo acquisterà un' egual velocità Cm, che unita alla prima diverrà $CV'' = 2BV'$, e $BV'Cm + V'mV''$ rappresenterà lo spazio percorso nel secondo tempo: nel terzo tempo acquisterà un' altra velocità che unita alle altre due diverrà tripla della prima, e così di seguito. In tal modo si forma il così detto *triangolo delle velocità*. Dunque, poichè i triangoli ABV', ACV'', ec. così formati rappresentano gli spazii percorsi, come AB, AC, ec. rappresentano i tempi impiegati nel percorrerli, essendo tutti triangoli simili, avremo $ABV' : ACV'' :: AB^2 : AC^2 :: BV'^2 : CV''^2$ ossia, $S : s ::$

$T^2 : t^2$; dunque *gli spazii percorsi con moto uniformemente accelerato*, *sono in ragione dei quadrati dei tempi*, o *delle velocità acquistate nell'accelerazione*.

62. Se dalle estremità V', V'', ec. delle linee rappresentanti le velocità, si conducano le V'p, V''q, ec. parallele ad AE, e quindi le diagonali Bm, mo, Cn, ec. nei piccoli quadrati che ne resultano, vedremo tanti triangoli eguali; e per mezzo di tal divisione vedremo verificato col fatto il principio stabilito, poichè nel primo tempo AB lo spazio percorso è ABV', nei primi due tempi è ACV''=4ABV', nei primi tre tempi è ADV'''=9ABV' ec. E poichè $S : s :: T^2 : t^2$, e gli spazii possono rappresentarsi per mezzo delle altezze da cui cade un corpo, alle quali essi sono proporzionali, chiamando A, a le altezze, avremo $A : a :: T^2 : t^2$

L'esperienza insegna che un corpo lasciato cadere liberamente, prescindendo dalla resistenza dell'aria, percorre quindici piedi e un decimo nel primo minuto secondo di sua caduta. Chiamando g questo numero, in T minuti secondi il corpo percorrerà gT^2 secondi, e però avremo $A : a :: gT^2 : gt^2$, ossia, I.° $a=gt^2$, essendo t espresso in secondi. Al principio del secondo minuto, il corpo avrà la stessa velocità che gli farebbe percorrere g, unita a quella che aveva nel primo: dunque dopo 1'' si troverà rivestito di una velocità doppia di quella che aveva al principio di sua caduta, cioè 30,2pi, ossia $2g$; dunque in generale la velocità così acquistata alla fine del 1.° 1'' è $2g$. 1, del 2.° $2g$. 2, del 3.° $2g$. 3, del t^{mo} $2g$. t; dunque II.° $v=2gt$: ma trovammo la prima formula $a=gt^2$, da cui abbiamo $t=\sqrt{\frac{a}{g}}$, dunque sostituendo questo valore nella seconda avremo III° $v=2\sqrt{ag}$. In queste formule abbiamo quattro elementi, cioè l'altezza a, la velocità iniziale g, la velocità finale v, e il tempo t: e possiamo trovare il valore di ognuno, relativamente ad altri due di essi, secondo le circostanze.

64. Dallo stesso triangolo e dalla stessa costruzione si rileva ancora, che nel *moto uniformemente accelerato*, *gli spazii parziali crescono in ragione dei numeri dispari*. Infatti se nel primo tempo il corpo percorre uno spazio, e 4 nei primi due, nel secondo solamente percorrerà lo spazio 4 −1=3, nel 3° 9−4=5, nel 4° 16−9=7, ec. Se la serie degli spazii totali è 1, 4, 9, 16 ec. n^2, quella degli spazii parziali sarà 1, 3, 5, 7, ec., $n^2-(n-1)^2$.

Se alla fine del tempo AE cessi la forza acceleratrice, e il corpo continui a muoversi con moto uniforme, in virtù della velocità EV^{IV} acquistata nell'accelerazione, in un tempo EL=AE percorrerà lo spazio EM, il quale è doppio del triangolo AEV^{IV}; dunque *lo spazio per-*

corso con moto uniformemente accelerato, è la metà dello spazio percorso nel tempo stesso con moto uniforme, con la velocità acquistata al fine dell' accelerazione.

Tutta questa teoria è confermata col fatto dalla macchina d'Athwood, ormai tanto nota, che crediamo superfluo il descriverla.

Del resto è chiaro, che tutte queste leggi si applicano naturalmente al moto uniformemente ritardato, ma con ordine inverso.

65. Se invece di cadere un corpo liberamente, senza altro ostacolo che l'aria, cada per un *piano inclinato* ABC (*fig* XL), la forza con cui cade è la sua medesima forza di gravità, scemata o modificata dalla resistenza del piano. Se non esistesse il piano, il corpo R caderebbe per la verticale Rq, che rappresenta la sua *gravità assoluta*; ma il piano lo sostiene, e nel sostenerlo decompone la forza naturale di esso in due altre; una è m rappresentata da Rm, con cui il corpo gravita verticalmente sul piano, e che quindi resta distrutta dall' invincibile resistenza del medesimo; l'altra è m', parallela al piano, rappresentata da Rm, alla quale soltanto il corpo obbedisce, e la quale rappresenta la *gravità o forza relativa* di esso. Ora son simili i triangoli Rnm', ABC rettangoli, con gli angoli nRm', CAB corrispondenti eguali, e quindi Rnm'= ACB: avremo dunque Rn : Rm' :: AC : AB: e chiamando p la gravità assoluta del corpo rappresentata da Rq, ossia Rn, F la sua gravità relativa rappresentata da Rm', sarà p : F :: AC : AB :: 1 : senC, cioè nella caduta d'un corpo per un piano inclinato, *la gravità relativa sta alla gravità assoluta del corpo, come l altezza del piano inclinato sta alla sua lunghezza.*

Si osservi che da questa proporzione si rileva ancora il valore particolare di p e di F, perchè AC : CB :: 1 : senC (=cosA=cosRnm'= cos$m$Rn), e però p : F :: 1 : cos$m$Rn; onde $p=F\times\frac{AC}{AB}$, e F=$p$cos$m$Rn.

66. Ma il rapporto dell'altezza con la lunghezza del piano inclinato resta costante, e l'azione della forza di caduta si rinnova continuamente, mentre il corpo cade per il piano stesso; dunque il corpo in questa circostanza si muove con moto uniformemente accelerato, come quando cade liberamente, se non che in questo caso la celerità del moto è minore. Infatti sia per esempio l'altezza AC (*fig.* XLI) d'un piano inclinato eguale alla metà della lunghezza AB: dividiamo AB in quattro parti eguali Ad, df, fg, gB, e parimente AC nelle quattro parti eguali Ae, eh, hi, iC, che supporremo essere i quattro spazii che un corpo lasciato a se stesso percorrerebbe liberamente in 2″. Ora se il corpo avesse soltanto la metà di quella forza che ha naturalmente, in vece di scendere da A in C in 2″, scenderebbe solamente fino in h. Se dunque venga po-

sato sul piano inclinato, poichè la sua gravità relativa è in questo caso come 1 : 2, secondo il teorema trovato di sopra, sarà talmente sostenuto dal piano, che scenderà verso B con la sola metà del suo peso, e vi scenderà con la stessa celerità con cui sarebbe sceso per la linea AC, se fosse caduto liberamente con la metà della forza che ha realmente. Dunque questo corpo che scorre per il piano inclinato, scenderà soltanto fino in d, che è un punto allo stesso livello di e, ossia distante dal centro della terra egualmente che e, mentre se non fosse stato sostenuto dal piano, avrebbe nel tempo stesso percorsi quattro spazii, e sarebbe sceso fino in C: dunque il corpo arriva in d per un piano inclinato, nel tempo in cui verticalmente arriverebbe in C, e in d ha la stessa celerità che avrebbe in e se cadesse liberamente da A, ma impiega un tempo doppio ad acquistare tal celerità. E se giunto in d prosegua a muoversi lungo il piano inclinato, in altrettanto tempo, cioè in altri 2″, percorrerà per la ragione stessa i tre spazii df, fg, gB, appunto come se cadesse liberamente per la linea AC con una forza di gravità metà di quella da cui è mosso realmente, o come se con la forza totale impiegasse nel cadere la metà del tempo. Dunque 1°. le velocità acquistate sono come i tempi che seguono la ragione dei numeri naturali 1, 2, 3, ec.; 2°. gli spazii percorsi dal principio della discesa sono come la serie dei quadrati 1, 4, 9, 16, ec., 3°. gli spazii parziali sono come la serie dei numeri dispari 1, 3, 5, 7, ec., e 4°. lo spazio percorso fino in un punto qualunque del piano, è la metà di quello che percorrerebbe con moto uniforme con la celerità acquistata dal principio della caduta fino in quel punto.

67. Se per esempio in un circolo verticale (*fig.* XLII) cadano contemporaneamente due corpi, uno lungo il diametro AC, l'altro lungo una corda AD, impiegheranno egual tempo per arrivare alla circonferenza. Infatti conducendo DC, avremo il triangolo rettangolo ADC simile al triangolo AdC della *fig. preced.*: il diametro AC rappresenta l'altezza o il piano verticale, e AD la parte superiore del piano inclinato: dunque i tempi della discesa lungo tutte le corde di un circolo stesso e del diametro, sono eguali fra loro.

68. La velocità poi che un corpo ha acquistata in B alla fine della discesa per un piano inclinato, è eguale a quella che avrebbe acquistata alla fine della sua caduta libera in C, lungo l'altezza del medesimo. Infatti dopo tempi eguali, quando i corpi sono in C e in d, le velocità sono nel rapporto stesso che nel principio della caduta, cioè : : AB : AC; e quando il corpo scende da d in B, la velocità cresce come il tempo: ma i tempi sono come le radici degli spazii, e però la velocità in d sta alla velocità in B : : $\sqrt{\text{A}d}$: $\sqrt{\text{AB}}$. Unendo queste due proporzioni e chia-

mando F la velocità in C, f la velocità in B, f' la velocità in d, avremo

$F : f' :: AB : AC$

$f' : f :: \sqrt{AD} : \sqrt{AB}$, e moltiplicandole termine per termine verrà $F : f :: AB\sqrt{AD} : AC\sqrt{AB} :: \sqrt{AB.AD} : AC$, Ma conducendo Cd, poichè $AC^2 = 4$, e $Ad.DB = 4$, sarà $AC^2 = Ad.dB$, dunque Cd è perpendicolare, dunque $AC = \sqrt{AB.Ad}$: dunque $F : f :: AC : AC$; cioè le velocità in C, e in d così acquistate sono eguali.

69. I tempi impiegati da due corpi a percorrere due piani egualmente inclinati, sono fra loro nel rapporto delle radici delle lunghezze o delle altezze dei piani medesimi. Infatti questi piani omologhi di figure simili son percorsi con moto uniformemente accelerato, dunque gli spazii son proporzionali ai quadrati dei tempi, cioè $S : s :: T^2 : t^2$, ossia $T : t :: \sqrt{S} : \sqrt{s}$: ma gli spazii son rappresentati dalle lunghezze dei piani, queste sono proporzionali alle altezze e alle basi, perchè appartengono a figure simili; dunque in generale possiamo dire, che i tempi impiegati da due corpi a percorrere con discesa libera due figure simili, sono in ragione delle radici quadre delle dimensioni omologhe.

MOTO COMUNICATO.

70. Fin qui abbiamo considerato nei corpi il solo moto naturale nella caduta o nella discesa libera. Non possono essere i medesimi gli effetti, quando un corpo si muova in virtù di un moto impresso, per cui può muoversi in varii modi; e però dobbiamo cercare nuove leggi per questa diversa teoria, fecondissima di applicazioni, ma che noi, per non oltrepassare i limiti che ci siamo proposti, e per dar nondimeno un'idea generale dei principali effetti di questo genere, riguarderemo sotto due aspetti principali, cioè esamineremo il moto comunicato in linea retta, e il moto comunicato in linea curva.

MOTO RETTILINEO.

71. Il moto comunicato rettilineo si osserva nell'urto dei corpi. Si chiama *urto* l'azione che un corpo esercita sopra un altro che incontra sul suo cammino, o lo incontri in quiete o in moto, ma meno veloce del suo. Gli effetti dell'urto variano in particolare secondo le circostanze del moto, ma in generale variano secondo la natura dei corpi, i quali sono di tre specie, *duri*, *elastici* e *molli*. Si chiama corpo *duro* quello che nell'urto non riceve veruna impressione; *elastico* quello che nell'urto vien compresso, ma perde subito ogni orma di compressione,

tornando alla sua primitiva figura; *molle* finalmente quello che nell' urto riceve una compressione e la conserva, restando in quello stato di figura a cui l' ha ridotto il corpo urtante. Cercheremo le leggi dell'urto dei corpi duri e degli elastici soltanto, perchè per i corpi molli esistono le stesse leggi che per i corpi duri.

Si noti però che in natura non esistono corpi perfettamente duri nè perfettamente elastici: ma noi li riguarderemo come tali per maggior semplicità; come pure per semplicità maggiore supporremo che si muovano in un mezzo il quale non opponga al loro moto nè resistenza nè attrito.

Urto diretto dei corpi duri.

72. Cerchiamo cosa debba accadere dopo l'urto diretto fra due corpi duri. Intendiamo che due corpi si urtino direttamente, quando i loro centri di gravità si trovano nella direzione del loro moto. Se dunque un corpo M urti un corpo m che trova sul suo cammino, mosso per la stessa direzione, ma da una velocità minore, gli comunicherà una porzione di sua forza, e gliene comunicherà tanta, che dopo l' urto ambedue proseguiranno il cammino con la stessa velocità. Infatti, se l' urtante ne comunicasse all' urtato una porzione maggiore, l' urtato avrebbe maggior velocità dell' urtante, il che è contro la legge d' inerzia, per cui un corpo deve restare nel suo stato; e se gliene comunicasse una quantità minore, non vincerebbe l' ostacolo, il quale restando costante, impedirebbe l'esecuzione d' una legge invariabile della natura nella comunicazione del moto. Dunque se un corpo in moto urta un altro corpo parimente in moto, che abbia una velocità minore, ma per la stessa direzione, gli comunica tanta forza, che dopo l' urto proseguono ambedue il loro cammino con egual velocità.

73. Per conoscere qual sia questa velocità comune dopo l' urto, si osservi, che il corpo urtato m guadagna in velocità e quindi in forza a scapito dell' urtante M: dunque la perdita di questo è eguale al guadagno di quello. Sia V la velocità dell' urtante prima dell' urto, v quella dell'urtato, e C la velocità comune dopo l'urto: è chiaro che dopo l' urto la velocità perduta da A sarà V—C, e quindi la forza da esso perduta sarà $M(V-C)$ §. 58): parimente la velocità guadagnata da m è tutta quella con cui prosegue il suo cammino, sottrattane quella che già aveva, cioè $C-v$, e la forza guadagnata da esso sarà $m(C-v)$: ma la perdita dell' uno è eguale al guadagno dell'altro, dunque $M(V-C)=m(C-v)$, e di qui abbiamo la velocità comune, $C=\frac{MV+mv}{M+m}$, cioè *la*

velocità comune di due corpi duri dopo l'urto è eguale alla somma delle loro quantità di moto, divisa per la somma delle loro masse. Sostituendo questo valore nell'espressione V—C, avremo la velocità perduta da M, $V-C=m\frac{(V-v)}{M+m}$; e sostituendolo in $C-v$, avremo la velocità guadagnata da m, $C-v=M\left(\frac{V-v}{M+m}\right)$, cioè *la velocità perduta dal corpo urtante è eguale al prodotto della massa dell' urtato per la differenza delle velocità prima dell'urto, e diviso per la somma delle due masse; e la velocità guadagnata dall' urtato è eguale al prodotto della massa dell'urtante per la differenza delle velocità prima dell' urto, diviso per la somma delle due masse.*

74. L'espressione di queste velocità vale per tutte le circostanze in cui si possa trovare il corpo urtato; perchè se esso è nella stessa direzione, la sua velocità sarà positiva, cioè $+v$; se il corpo sarà in riposo, la sua velocità sarà $v=0$; e se si muoverà in direzione contraria, v sarà negativa, cioè $-v$: dunque possiamo esprimere la formula della velocità comune con un carattere generale, cioè $C=\frac{MV\pm mv}{M+m}$. Sostituendo questo valore col segno negativo, cioè per il caso in cui i corpi si vadano incontro l'un l'altro, nelle espressioni della velocità perduta dall' urtante, e della guadagnata dall' urtato, queste diventeranno $m\frac{(V+v)}{M+m}$, $M\frac{(V+v)}{M+m}$.

Dunque avremo l'espression generale della velocità dopo l'urto

comune	perduta da M	guadagnata da m
$\frac{MV\pm mv}{M+m}$	$\frac{m(V\mp v)}{M+m}$	$\frac{M(V\pm v)}{M+m}$

nelle quali espressioni il segno superiore vale per l'urto dei corpi in direzione eguale, e il segno inferiore per l' urto in direzione contraria.

Da ciò si vede la ragione per cui chi riceve un peso dall'alto abbassa la mano, cioè per scemare la forza e l'azione di esso; mentre riceverebbe un' impressione molto più forte se portasse la mano incontro al peso, perchè in questo caso il corpo eserciterebbe sopra la mano una forza rappresentata da $MV+mv$, mentre nel primo caso produrrebbe solamente l'effetto della forza $MV-mv$.

Urto diretto dei corpi elastici.

75. Supponendo perfettamente elastico un corpo, si sa che la forza d'elasticità è tale da ridurlo esattamente alla sua primitiva figura, quando una forza di compressione glie l'aveva fatta perdere: dunque la forza di restituzione è eguale e contraria alla forza di compressione, e dobbiamo riguardarla come una forza che operando dall'interno del corpo all'esterno, respinge le molecole che la compressione tolse dal loro posto, per porle di nuovo nel loro stato primitivo. Se dunque un corpo elastico urta in un piano fisso, primieramente viene schiacciato da esso nell'urto, e quindi nel ristabilirsi nel suo primo stato urta di nuovo contro il piano, e non potendolo respingere, vien respinto da quello, e però torna indietro.

Osservato questo fenomeno che accompagna sempre l'urto dei corpi elastici, facciamone l'applicazione all'urto di due corpi mobili M, m, che sono in moto con le velocità V, v in una stessa direzione. È chiaro che questi corpi saranno primieramente sottoposti alla condizione dei corpi duri, e però, in conseguenza solamente dell'urto, l'urtante M perderà la velocità $m\frac{(V-v)}{M+m}$, e l'urtato m guadagnerà la velocità M $\frac{(V-v)}{M+m}$; ma tornando i corpi alla primitiva figura, l'urtato m operando contro M con la sua forza di restituzione, eguale e contraria alla forza di compressione con cui fu urtato, farà perdere a quello una porzione di velocità, eguale a quella che gli fece perdere nel primo urto: dunque la velocità totale perduta da M sarà doppia di quella che perderebbe se fosse corpo duro, cioè $\frac{2m(V-v)}{M+m}$: ma l'urtante parimente, nel tornare al suo primo stato, urta di nuovo m con la sua forza di restituzione, e quindi gli comunica una nuova velocità eguale a quella che già gli comunicò; sicchè il guadagno totale di m sarà pure doppio di quello che sarebbe stato se esso fosse un corpo duro, cioè $\frac{2M(V-v)}{M+m}$. Dunque la velocità totale di m dopo l'urto, compresa quella che già aveva, sarà $v+\frac{2M(V-v)}{M+m}=\frac{2MV-(M-m)v}{M+m}$; e quella che resta ad M sarà

$$V-\frac{2m(V-v)}{M+m}=\frac{2mv+(M-m)V}{M+m},$$

76. Che se i corpi si incontrano in direzione contraria, ragionando come per il primo caso, la velocità perduta da M sarà $2m\frac{(V+v)}{M+m}$, e quella che gli resta sarà $V-\frac{2m(V+v)}{M+m}=\frac{(M-m)V-2mv}{M+m}$, e la velocità guadagnata da m sarà $\frac{2M(V+v)}{M+m}$; e per conoscere la sua velocità effettiva, bisognerà togliere dal guadagno la primitiva velocità v, perchè era in direzione contraria, cioè negativa; e però la sua velocità effettiva sarà $\frac{2M(V+v)}{M+m}-v=\frac{2MV+(M-m)v}{M+m}$.

Riunendo qui pure sotto un punto di vista le doppie formule, perchè sono eguali, eccettuato il segno, valendo il segno superiore per l'urto in direzione cospirante, e l'inferiore per l'urto in direzione contraria, avremo,

Velocità — Per M

dopo l'urto $x=\frac{(M-m)V\pm 2mv}{M+m}$

totale perduta $x'=\frac{2m(V\mp v)}{M+m}$

parziale perduta per effetto dell'elaterio $x''=\frac{m(V\mp v)}{M+m}$

Velocità — Per m

dopo l'urto $y=\frac{2MV\mp(M-m)v}{M+m}$ (1)

totale acquistata $y'=\frac{2M(V\pm v)}{M+m}$ (2)

parziale acquistata per effetto dell'elaterio $y''=\frac{M(V\mp v)}{M+m}$ (3)

Ben si vede che queste formule vagliono ancora nel caso in cui m sia in riposo prima dell'urto, sol che si faccia $v=0$.

77. Per fare un'applicazione a qualcuna di queste formule, si cerchi se una palla elastica m' in riposo riceva maggior velocità, urtata immediatamente da un'altra palla maggiore M con la velocità V, o urtata per mezzo d'un'altra palla intermedia m parimente in riposo, minore di M e maggiore di m'. La velocità che acquisterebbe m in riposo urtata da M, sarebbe (*form.* 2ª) $\frac{2MV}{M+m}$, perchè $v=0$. Per sapere con qual velocità la palla m in questo caso urterebbe m', osservo in questa espressione, che la velocità acquistata dal corpo urtato è eguale al doppio prodotto della massa M dell'urtante per la velocità V di esso, diviso per la somma delle masse dell'urtante e dell'urtato: dunque m' urtata da m con la velocità $\frac{2MV}{M+m}$, guadagnerà

$$\frac{2m \times \frac{2MV}{M+m}}{m+m'} = \frac{4MmV}{(M+m)(m+m')}$$; e se m' fosse urtata direttamente da M, acquisterebbe la velocità $\frac{2MV}{M+m'}$. Resta a vedersi quale sia maggiore di queste due espressioni.

Velocità acquistata mediante m — Velocità acquistata immediatamente

$$\frac{4MmV}{Mm+Mm'+m^2+mm'} \qquad \frac{2MV}{M+m'}$$

Riduco, dividendo per 2 MV,

$$\frac{2m}{Mm+Mm'+m^2+mm'} \qquad \frac{1}{M+m'}$$

Riduco allo stesso denominatore,

$$2m \qquad \frac{Mm+Mm'+m^2+mm'}{M+m'}$$

eseguisco la divisione,

$$2m \qquad m'+m+\frac{m^2-m'^2}{M+m'}.$$

Questo rotto dà la proporzione

$$M+m' : m+m' :: m-m' : \frac{m^2-m'^2}{M+m'}.$$

dove $M+m' > m+m'$; dunque $m-m' > \frac{m^2-m'^2}{M+m'}$, ossia, aggiungendo $m'+m$,

$$m-m'+m'+m > \frac{m^2-m'^2}{M+m'}+m'+m,$$

finalmente $2m > m'+m+\frac{m^2-m'^2}{M+m'}$: dunque un corpo elastico, urtato da altro corpo elastico maggiore, per mezzo d'altro corpo simile, di grandezza media fra essi, acquista una velocità maggiore di quella che acquisterebbe se fosse urtato dal primo immediatamente.

Con le medesime equazioni possiamo fare qualunque altra applicazione. 1° Sia per esempio $V=6$, $v=0$, cioè sia in quiete la palla urtata; e sia $M=m=1$. cosa accaderà dell'urtante e dell'urtata dopo l'urto? L'urtante avrà la velocità

$x = \frac{0.V + 2m\,0}{M + m}$ (*form.* 1ª) $= 0$, cioè resterà ferma; e l'urtata avrà la velocità $y = \frac{2.1.6 - 0}{2} = 6$, cioè anderà nella direzione dell'urtante con tutta la velocità della medesima. 2°. Sia $M = 1, m = 5$, $V = 6$, $v = 0$: dopo l'urto, la palla urtata avrà una velocità $y = \frac{2.1.6 \mp 0}{6} = 2$, e l'urtante avrà la velocità $x = \frac{-4.6 \pm 0}{6} = -4$. cioè stornerà indietro con una velocità come 4. 3°. Se in un sistema di palle elastiche eguali a contatto, sospese ciascuna ad un filo, facciamo che la prima urti la seconda, dopo l'urto la prima e tutte l'altre restano ferme, eccettuata l'ultima la quale percorre uno spazio eguale a quello percorso dalla prima nell'urtare: se le urtanti sieno due, si muoveranno nello stesso modo l'ultime due, se sieno tre, si muoveranno l'ultime tre, ec. Infatti la prima nell'urtar la seconda le cede tutto il suo moto, e resta ferma; la seconda comunica alla susseguente il moto ricevuto, e resta ferma essa pure; e così di seguito fino all'ultima, la quale non avendo a chi comunicare il moto ricevuto, si muove, e si muove precisamente in forza di tutto quel moto, e quindi percorre uno spazio eguale allo spazio percorso dalla prima. Se si muovano le prime due in modo che vadano unite ad urtare le altre, la seconda produrrà primieramente lo stesso effetto come se fosse sola. e farà muovere, come sopra, l'ultima palla: le altre dunque resterebbero in quiete, ma sopraggiunge immediatamente l'urto della prima, e quindi comunicandosi il moto a tutte nella solita maniera, la penultima che era ferma come l'altre, perchè aveva comunicato all'ultima il moto ricevuto dalla seconda, si muoverà in virtù di questo urto della prima: così se sieno tre le urtanti si muoveranno nel modo stesso le ultime tre, ec. Tali esperienze possono verificarsi facilmente con la nota macchina di Mariotte,

Urto obliquo dei corpi duri e dei corpi elastici.

78. Si dice che un corpo urta obliquamente un altro corpo, quando la sua direzione non passa per il centro di quello. E primieramente sia P un corpo duro che vada ad urtare obliquamente nel piano immobile AB (*fig.* XLIII) nel punto a, e sia Pa la linea che rappresenta la sua forza. È chiaro (§. 6) che nel punto d'incontro questa forza si decompone in due, una aC perpendicolare al piano, e l'altra a A parallela al medesimo: la prima vien distrutta dalla resistenza invincibile del piano

stesso; per la qual cosa il corpo obbedirà alla seconda soltanto, e quindi anderà per aB lungo il piano medesimo.

79. Se P è un corpo elastico, accaderà primieramente lo stesso che nei corpi duri; ma poi, giacchè l'elasticità produce la forza di restituzione eguale a quella di compressione, verrà ravvivata la forza aC, con cui il corpo tenderebbe a muovere il piano; ma questo essendo immobile, eserciterà una reazione contro il corpo che sarà spinto lungo aC: ma l'altra forza aB non è stata nulla alterata, dunque il corpo dovendo obbedire ad ambedue queste forze, percorrerà la diagonale aQ. E poichè i triangoli PaC, CaQ sono eguali, ne segue che l'angolo PaC formato dalla direzione di un corpo con la perpendicolare aC condotta sul piano al punto d'incontro, è eguale all'angolo formato dalla direzione del corpo dopo l'urto con questa stessa perpendicolare: il primo si chiama *angolo di incidenza*, e il secondo *angolo di reflessione*. Ne segue parimente che $aQ=aP$, dunque *quando un corpo elastico colpisce un piano immobile, fa dopo l'urto un angolo di reflessione eguale all'angolo d'incidenza, e si muove con la velocità stessa che aveva prima dell'urto.*

80. Sia mobile ancora il corpo urtato, e primieramente sieno corpi duri ambedue, e di egual massa, e P vada ad urtare Q nella direzione e con la forza PA (*fig.* XLIV). In virtù della legge tante volte citata, la forza PA nell'urto si decomporrà nelle due forze BA, CA; la prima nella direzione di BD gli farà urtare direttamente il corpo Q; e la seconda CA nella direzione di AE che non contribuisce nulla all'urto. Poichè abbiamo supposti i due corpi di massa eguale, P nell'urto comunicherà a Q la metà della sua forza (§. 72), sicchè dopo l'urto anderanno ambedue verso D con una forza $AD=\frac{AB}{2}$: ma P è spinto ancora verso AE dalla forza CA, dunque percorrerà la diagonale Ap del parallelogrammo costruito sopra AE, AD.

Lo stesso accaderebbe se i due corpi non fossero eguali in massa, se non che la loro quantità di moto verso D, e la direzione della resultante Ap varierebbe in proporzione della distribuzione delle forze, che accaderebbe nell'urto fra i due corpi (§. 73).

81. Se i due corpi sono elastici, accaderà nell'urto la stessa decomposizione di forze; ma P cederà tutta la forza BA a Q (§. 73), che si muoverà in virtù di essa, mentre P stesso obbedirà soltanto alla forza CA e anderà per AE.

82. Ma se il corpo elastico urtante è più piccolo dell'urtato, stornerà indietro. Infatti, se (*fig.* XLV) P per esempio urti Q di massa

doppia della sua, con la forza e nella direzione PA, è chiaro che P sarà spinto verso AE dalla forza CA, e urterà Q con la forza BQ, la quale in principio si sarà distribuita in ragione delle masse, cioè $\frac{1}{3}$ AB per il corpo P=1, e $\frac{2}{3}$ AB per il corpo Q=2. Ma in virtù della elasticità si ravviva nel corpo P la sua forza, la quale essendo minore di quella di Q, dovrà cedere ad essa, e quindi far retrocedere il corpo nella direzione di AB con una forza AD = $\frac{1}{3}$ AB; sicchè P percorrerà la diagonale AF, mentre Q seguirà la direzione della forza BA, e si avanzerà per un tratto QS = $\frac{2}{3}$ AB. Su questi principii, tanto relativamente all' urto contro un piano fisso, quanto contro un corpo mobile, è fondata la teoria del giuoco del Biliardo.

MOTO CURVILINEO.

83. Senza una forza continuamente rinascente che operasse sopra un corpo, non esisterebbe il moto curvilineo; e quando si osserva questo moto, bisogna concepir la curva descritta dal corpo come una riunione di linee rette infinitesime, ad angoli ottusissimi, perchè cambiano continuamente direzione, in virtù d' un impulso continuo d' altra forza. In due modi può un corpo nel suo moto descrivere una curva.

Moto di proiezione.

84. I.° Quando è spinto a muoversi nel tempo stesso dalla sua natural forza di gravità, e da una forza esterna che lo scaglia in direzione o obliqua o parallela all' orizzonte. In tal caso il corpo si chiama *proiettile*, la forza che lo scaglia, *forza di proiezione*, il moto del corpo, *moto di proiezione*, e la curva così descritta dicesi *traiettoria*.

Sia A un corpo spinto dalla forza di proiezione AF (*fig.* XLVI), nel momento in cui sarebbe per cadere per la verticale AB, in virtù della sua natural forza di gravità. È certo che il corpo è spinto a muoversi nel tempo stesso da questa forza AB che è acceleratrice, e da quella di proiezione, che può riguardarsi come uniforme perchè parallela o quasi parallela all' orizzonte. Dividiamo AB in parti che rappresentino gli spazii che il corpo lasciato a se stesso percorrerebbe in 1, 2, 3, ec. minuti secondi, cioè negli spazii Am=1, An=4, Ao=9, ec. (§. 61): dividiamo AF nelle porzioni eguali Aa, *ac*, *cd*, ec., rappresentanti gli spazii percorsi dal corpo in virtù della sola forza AF nei successivi minuti secondi. È certo (§. 82) che il corpo acquisterà un moto composto, obbedendo in parte alla forza acceleratrice e a quella di proiezione; e quindi mentre esso si muove per la linea AB, la stessa linea fa insieme

con esso il moto prodotto dall'impulso, e però dopo il 1°, 2°, 3°, ec. minuto secondo, il corpo si troverà nelle direzioni parallele *uf*, *cg*, *dh*, ec. Conducendo *mb*, *nr*, *os*, ec., parallele ad AF, è chiaro che il corpo si troverà in *b* dopo il primo minuto secondo, in *r* dopo il secondo, in *s* dopo il terzo; e facendo passare per i punti *b*, *r*, *s*, ec. una curva, questa sarà la traiettoria percorsa dal corpo A. E poichè A*m*, A*n*, A*o* sono come i quadrati dei numeri naturali 1^2, 2^2, 3^2, ec., ed *mb*, *nr*, *os* sono come i numeri naturali 1, 2, 3, ec., riguardando le prime come ascisse, di cui l'asse sarebbe AB, e le seconde come l'ordinate di cui l'angolo sarebbe BAF, avremo le ascisse in ragione dei quadrati delle ordinate, il che indica la proprietà della *parabola*: dunque *un corpo mosso contemporaneamente da una forza di proiezione e dalla forza di gravità, descrive una parabola.*

Moto centrale.

85. II.° Il secondo modo con cui un corpo descrive una curva, è quando è mosso da una forza esterna, e da un'altra forza che lo tira continuamente verso un punto stesso. E da ciò che abbiamo detto del moto di proiezione si rileva, che per produrre un moto curvilineo, oltre esser necessarie due forze, una di queste almeno deve essere acceleratrice, mentre l'altra può essere un urto che operi ad ogni momento sul mobile. Il caso che più possa importare al fisico è quello in cui una forza attrae continuamente un corpo verso un dato centro, mentre il corpo stesso ha ricevuto da un'altra forza un impulso esterno. Queste combinazioni di forze si chiamano *forze centrali*, e i moti che ne resultano, *moti centrali.*

Sia C (*fig.* XLVII) il centro verso il quale è attratto continuamente il corpo A, mentre riceve nel tempo stesso un moto nella direzione AD. Quantunque la forza centrale sia continua, per comprendere più facilmente questo fenomeno, supponiamo per un momento che essa operi a scosse, interrompendo la sua azione ad ogni istante. Nel primo istante essa porterebbe il corpo da A in B, mentre la forza laterale lo porterebbe in D: dunque il corpo percorrerà la diagonale AE del paralelogrammo di queste forze. Se in E cessasse la forza centrale, il corpo nel secondo istante percorrerebbe la linea EF=AD; ma la forza centrale nel tempo stesso gli fa percorrere lo spazio EG=AB, dunque esso percorrerà la diagonale EH, ec. Il corpo dunque nell'ammessa supposizione percorrerebbe la linea spezzata AEH ec.; ma poichè in fatto la forza centrale non opera a scosse, ma è continua, la strada percorsa dal mobile sarà una curva, la quale varierà al variare dell'intensità e della direzione

della forza laterale, e al variare dell'energia e delle leggi della forza centrale.

86. Frattanto si osservi, che la supposizione che abbiamo ammessa dell'azione a scosse della forza centrale, ci indica quale strada percorrerà il corpo, se la stessa forza centrale venga a cessare, cioè fuggirà sempre per una tangente alla curva che descriverebbe in virtù della combinazione delle due forze; e la forza con cui esso fuggirà per la tangente, deve a tutto rigore chiamarsi *forza tangenziale*, riserbando il nome di *forza centrifuga* a quella per cui un corpo si allontana dal centro, ma sempre lungo il raggio, opposta alla *forza centripeta* che è quella per cui lungo il raggio parimente si avvicina ad esso. Così il filo d'una fionda sta teso in virtù della forza centrifuga; e in virtù della forza tangenziale l'acqua zampilla sopra gli orli di un vaso mosso circolarmente.

87. Fra le varietà delle curve che può descrivere un corpo in questi casi, limitiamoci alla curva circolare, e osserviamo alcuni teoremi relativi a questa specie di moto.

E primieramente si muova circolarmente un corpo A (*fig* XLVIII), e descriva l'arco infinitesimo AB. Condotto il diametro AE, e la corda EB, se conduciamo BI seno, e AD tangente dell'arco AB, il seno-verso AI rappresenterà la forza centripeta, e BD la forza centrifuga. Ora poichè l'arco è supposto infinitesimo, sarà $AB = IB$, e per la stessa ragione EA, ED potranno riguardarsi come parallele, e però sarà ancora $BD = IA$, e il triangolo EAB potrà riguardarsi come rettangolo in B; quindi, poichè BI cade perpendicolarmente da questo angolo retto sulla base, il cateto AB sarà medio proporzionale fra l'ipotenusa AE e il segmento adiacente AI, cioè $AB^2 = AE \times AI$, ossia $AI = BD = \frac{AB^2}{AE}$. Dunque *la forza centripeta o la centrifuga d'un corpo mosso circolarmente, è eguale al quadrato dell'arco descritto, diviso per il diametro.* Dunque ogni legge che troveremo per una di queste forze varrà ancora egualmente per l'altra.

Si osservi però che quantunque la forza centripeta eguagli la centrifuga, pure il corpo non resta in riposo, perchè esso vien mosso ad ogni istante con nuovo impulso dalla forza acceleratrice; e la forza centrale che ne resulta, combinata con la proiettile, fa rinascere costantemente la forza centrifuga.

Tre sono gli elementi che entrano nel calcolo di queste forze da cui son mossi i corpi circolarmente, dalla differenza dei quali resulta una diversità delle forze medesime, cioè *massa*, *distanza dal centro*, e *tempi periodici*; dove per tempo periodico si intende quello, che il corpo impiega per fare un'intera rivoluzione intorno al centro della curva che

descrive; dimanierachè, relativamente a due corpi che si muovono sulla medesima curva con velocità diverse, *i tempi periodici sono in ragione inversa delle velocità.*

Tre sono le diverse combinazioni di questi elementi combinati a due a due, dalle quali deriva la diversità del terzo.

88. I.° *Se sono eguali i tempi periodici e le distanze dal centro, le forze centrifughe son proporzionali alle masse.* Questo teorema è chiaro per evidenza di fatto, giacchè tanto maggiore è il numero di forze da impiegarsi, quanto maggiore è il numero delle molecole da muoversi Si faccia girare circolarmente un corrente mobile sul suo centro, e nel centro stesso sieno fissati varii tubi inclinati in alto, contenenti fluidi di gravità specifiche diverse, e ancora alcuni solidi, parimente diversi in gravità Nel moto del corrente i fluidi più pesanti, come pure i corpi più pesanti, si allontanano più degli altri dal centro, dove scendono poi di nuovo convenientemente alla loro natura.

89. II.° *Se sono eguali i tempi periodici e le masse dei due corpi, le loro forze centrifughe sono come le distanze dai centri.* Sieno (*fig.* IL) AC, BC le distanze di due corpi A, B dal centro comune C, intorno al quale si muovono. Supponendo che partano nel tempo stesso, mentre A si troverà in F, B si troverà in I, e quindi conducendo le tangenti AD, BH degli archi AF, BI, le forze centrifughe saranno rappresentate da DF, HI. Ora

$CH : CB :: CD : CA$, ossia

$CH-CB : CB :: CD-CA : CA$, cioè

$HI : DF :: BC : CA$.

90. III.° *Se due corpi di massa eguale hanno egual distanza dal centro, e son mossi con velocità disuguali, le lor forze centrifughe sono in ragione inversa dei quadrati dei tempi periodici.*

Infatti abbiamo detto di sopra (§. 87), che la forza centrifuga o la centripeta d'un corpo è eguale al quadrato dell'arco descritto, diviso per il diametro del circolo: dunque in questo caso in cui i diametri sono eguali, le forze centrifughe sono in ragione dei quadrati degli archi: ma gli archi sono in ragione delle velocità, e le velocità in ragione inversa dei quadrati dei tempi periodici (§. 87); dunque le forze suddette sono in ragione inversa dei quadrati dei tempi periodici.

Come per corollario dei tre teoremi precedenti si può concludere, che se i tre elementi di queste forze sieno tutti diversi, le forze stesse saranno fra loro in ragion composta diretta delle masse M, m, e delle distanze D, d dal centro, e inversa dei quadrati dei tempi T, t; cioè $F : f :: \frac{MD}{T^2} : \frac{md}{t^2}$.

91. Un corpo appeso mobilmente per un dei suoi punti ad un asse, non è in equilibrio se quel punto non sia il centro di gravità; e non si mette in equilibrio finchè il centro medesimo non sia sostenuto, ossia finchè non si trova sulla perpendicolare abbassata dal centro di moto (§. 16). Se dopo essersi messo in equilibrio in tal modo, venga allontanato da questa linea verticale, e lasciato a se stesso perchè si muova liberamente, si avvicinerà e si allontanerà alternativamente dalla verticale stessa, e in questo stato il corpo si chiama *pendolo*. In sostanza qualunque corpo, di qualunque forma, si chiama pendolo *fisico* o *composto*, quando il suo centro di gravità non coincide col suo centro di moto o di sospensione; e si chiama pendolo *semplice* o *geometrico* una sola linea retta, che si muove intorno ad una sua estremità, e di cui consideriamo come pesante solamente l'altra estremità. Ma siccome un tal pendolo a rigore non può esistere, suppliamo con un corpo pesante chiamato *lente*, appeso ad un' estremità d'una *verga* sottile, riputata non pesante, mobile all' altra estremità. Quantunque i pendoli di cui ci serviamo comunemente sieno composti, perchè la verga è sempre pesante, nondimeno considerando la verga e la lente come se formassero insieme un corpo solo, potremo riguardare come generali le leggi che troveremo per un pendolo qualunque, lasciando a una meccanica più profonda l'analisi più minuta di questa teoria.

92. Si chiama lunghezza del pendolo la distanza dal centro di gravità della *lente* al centro di sospensione. Si dice *oscillazione* il moto che fa il corpo sospeso per andare e tornare intorno al centro di sospensione, ossia l'arco che esso descrive quando tolto dalla direzione verticale vien lasciato a se stesso; e siccome alcuni intendono con questo nome una sola andata o un solo ritorno, chiameremo *oscillazione intera* l'andata e il ritorno insieme, ossia tutto il moto che fa il corpo per andare e poi tornare al punto da cui partì. Sia AB (*fig* L) il pendolo posto verticalmente, nella qual situazione dovrà star immobile, perchè il centro di moto e il centro di gravità sono sulla stessa linea verticale. Se il pendolo venisse trasportato in C, e abbandonato a se stesso, di natura sua dovrebbe obbedire alla forza CD di gravità: ma poichè questa forza è in direzione obliqua con la direzione AC del pendolo, dovrà decomporsi nelle due CF, CE; e poichè CF è totalmente distrutta dalla resistenza del punto di sospensione A, il corpo si muoverà verso B per la direzione della tangente Cx' che si confonderà con l'arco infinitesimo Cc. E siccome la forza di gravità è costante, costante pure è la forza accele-

ratrice sul corpo C, ma sempre però decrescente, perchè l'angolo DCF va sempre scemando, divenendo *mno*, *pqr*, ec., a misura che il corpo si avvicina a B, dove questo angolo è zero: dunque il pendolo dal principio del suo moto fino all'arrivo alla perpendicolare, ha un moto disugualmente accelerato. Arrivato in B dovrà proseguire a muoversi con tutta la forza acquistata, ma siccome la forza di gravità opera sopra il corpo in direzione opposta, esso si muoverà con la stessa legge, ma con moto disegualmente ritardato, finchè nel salire non abbia percorso l'arco BG eguale all'arco BC percorso nello scendere.

Giunto il corpo in G si trova nelle stesse circostanze in cui si trovava quando era in C, e quindi per la stessa ragione dovrà ancora da questo punto dirigersi nello stesso modo di prima verso B, per risalire fino in C, e percorrere questo spazio, nel tornare indietro, in un tempo eguale a quello che impiegò per arrivarvi; e questa eguaglianza di tempo produce l'*isocronismo* delle oscillazioni, cioè *le oscillazioni di un pendolo sono sensibilmente isocrone ossia della stessa durata.*

93. Ciò è vero per qualunque porzione d'arco considerato ancora separatamente, e però la proposizione è generalmente vera. Infatti se il pendolo C parta successivamente dai punti C, n, in cui sia in riposo nel primo momento, e descriva gli archi CG, nn', descriverà questi archi, o le loro metà CB, nB nel medesimo tempo. Infatti, se rappresentiamo il peso del pendolo per mezzo delle piccole perpendicolari eguali CD, nm, e supponiamo decomposta ciascuna di queste due forze in due altre CF, CE, ed no, nx, essendo le prime, cioè CF, ed no nella direzione del raggio AC, An, e le seconde CE, ed nx tangenti all'arco, è chiaro che le prime son distrutte dalla resistenza del punto a cui è appeso il pendolo, il quale in conseguenza è mosso soltanto in virtù delle seconde forze CE, nx. E poichè supponiamo piccolissimi gli archi CB, nB, i triangoli CAB, nAB possono riguardarsi come rettilinei: e poichè CAB è simile a CDE, ed nAB ad nmx, perchè hanno tutti i loro lati reciprocamente paralleli, avremo $CE : CB :: CD : AB$, e $CE = \frac{CD \times CB}{AB}$ parimente $nx : nB :: nm : AB$, ed $nx = nm \times \frac{nB}{AB}$; dal che avremo $CE : nx :: CD \times \frac{CB}{AB} : nm \times \frac{nB}{AB} :: CD \times CB : nm \times nB :: CB : nB$, perchè la forza di gravità del pendolo è sempre costante. Dunque le forze che spingono il pendolo son proporzionali agli spazii che devon essere percorsi; ossia, poichè le forze che fan percorrere allo stesso corpo due elementi d'arco corrispondenti, son proporzionali a questi medesimi elementi,

questi elementi son percorsi in tempi eguali, e però gli spazii cB, *n*B, e quindi gli spazii interi CG, *nu'* son percorsi in tempi eguali.

94. *La durata delle oscillazioni di due pendoli di diverse lunghezze, e quindi ancora il numero delle vibrazioni, sono fra loro come le radici quadre di queste lunghezze medesime.* Infatti gli archi percorsi da due corpi, sono figure simili; ma i tempi impiegati nel percorrere spazii di figure simili sono come le radici quadre delle dimensioni omologhe (§. 61), e le lunghezze dei pendoli son dimensioni omologhe, perchè son raggi di circoli; dunque le durate delle oscillazioni sono come le radici quadre delle lunghezze dei pendoli. Così se l, l' sieno le lunghezze di due pendoli, e t, t' i tempi o durate delle oscillazioni, sarà sempre $t : t' :: \sqrt{l} : \sqrt{l'}$. E chiamando n, n' il numero delle loro oscillazioni nel tempo stesso, la durata d'un'oscillazione del primo, sarà $\frac{t}{n}$, e del secondo sarà $\frac{t'}{n'}$: dunque $\frac{t}{n} : \frac{t'}{n'} :: \sqrt{l} : \sqrt{l'}$, osssia $n' : n :: \sqrt{l} : \sqrt{l'}$, cioè *il numero di oscillazioni di due pendoli in un tempo dato è in ragione inversa delle radici quadre delle loro lunghezze.*

95. Dalla citata legge relativa alla durata delle oscillazioni resulta, che il tempo dell'oscillazione del pendolo semplice è un puro effetto della gravità, indipendente dall'influenza accessoria di qualunque altra forza. Dunque il tempo dell'oscillazione varia al variar della massa, ossia al variare della forza di gravità: ma si trovò (§. 62) $t : t' :: \sqrt{g'} : \sqrt{g}$, dunque *i tempi delle oscillazioni sono in ragione inversa delle radici delle gravità o delle masse.*

96. Nella costanza di tutte queste leggi e degli effetti che da esse generalmente resultano, sono state osservate alcune variazioni dipendenti da cause fisiche che non possono rimuoversi; le quali variazioni, benchè piccole in apparenza, pure sono di molta importanza, relativamente all'uso che facciamo dei pendoli in alcune delicate applicazioni. La causa perturbatrice dell'uniformità costante degli effetti di questo genere, è riposta nella natura stessa; giacchè, come resulta dalla teoria del calorico, i metalli sono soggetti a dilatarsi per effetto del caldo, e a contrarsi per effetto del freddo. Ed è chiaro che tal dilatazione o contrazione deve produrre un'alterazione nella lunghezza dei pendoli, e quindi nel centro di oscillazione, il quale nel primo caso si abbasserà, e nel secondo si alzerà; e però debbon venire alterati tutti gli effetti che abbiamo veduto dipendere dalla lunghezza della verga stessa. Bisognava dunque compensare questi effetti, non potendo allontanare la causa che gli altera In varie maniere son formati questi

compensatori (§. 261). Una delle più comuni consiste in alcune verghe di metalli diversi, di dilatabilità diseguali ma note, unite alla *lente* del pendolo, in modo che quando esso si allunga per effetto di dilatazione, la lente viene alzata in forza della compensatrice contrazione di queste verghe; e al contrario viene abbassata quando l'asta si co ntrae per effetto del freddo: sicchè il centro d'oscillazione resta sempre fisso, relativamente alla sua distanza dal centro di sospensione, le oscillazioni restano isocrone, e la durata e il numero delle oscillazioni rimangono costanti. Si può fare ancora un compensatore formando il pendolo con un tubo di vetro contenente una certa quantità di mercurio. Questo tubo si allunga al caldo e si contrae al freddo: ma il mercurio che è in basso si dilata esso pure nel tempo medesimo, e in un rapporto anco maggiore; sicchè è facile trovare con l'esperienza una tal quantità di mercurio, per cui questi due effetti si compensino, e il centro d'oscillazione resti sempre nel medesimo punto. Questo compensatore è più facile del primo a conoscersi e ad eseguirsi Si dice che ancora le verghe d'abete, bollite nell'olio, e quindi disseccate, sieno così poco dilatabili, che possano usarsi per la costruzione dei pendoli, senza bisogno di verun compensatore.

TAVOLA

DEI PRINCIPALI ARTICOLI CONTENUTI IN QUESTO VOLUME.

VII. DEL MAGNETISMO . . . . Pag. 3

1. *Principii generali della teoria del magnetismo* . . . 4
2. *Della legge che seguono le azioni magnetiche in ragione della distanza* 7
3. *Delle Attrazioni e Repulsioni magnetiche* 11
4. *Della comunicazione del magnetismo* 28
5. *Del magnetismo del Globo terrestre* 37
6. *Del magnetismo del ferro di miniera* 59
7. *Delle diverse ipotesi immaginate dai fisici sulla causa del magnetismo che esercita il Globo terrestre* . . . 64

ESPERIENZE ELETTRO-MAGNETICHE 68

1. *Fenomeni osservati da Oersted* 70
2. *Attrazioni e repulsioni galvaniche osservate da Ampère.* 72
3. *Osservazioni di Arago relativamente alla magnetizzazione delle lastre di ferro o d' acciaio, per mezzo della corrente galvanica* 74

VIII. DELLA LUCE. 79

1. *Della natura e della propagazione della luce* 81
2. *Della reflessione e della refrazione della luce* . . . 90
3. *Decomposizione della luce solare* 125
4. *Della visione naturale.* 184
5. *Della visione aiutata dall' Arte* 208

IX. INTRODUZIONE ALLO STUDIO DELLA MECCANICA. 323

1. *Principii di Statica* 324
2. *Principii di Dinamica* 355

FINE.

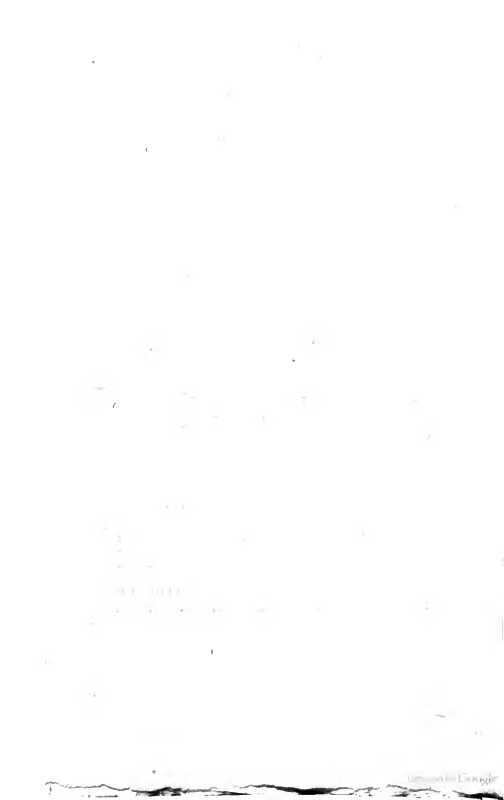



TAVOLA ALFABETICA

DELLE MATERIE CONTENUTE IN QUESTO TRATTATO.

I NUMERI INDICANO I PARAGRAFI DELL'OPERA; E QUANDO SON PRECEDUTI DALLA LETTERA M, *INDICANO I PARAGRAFI DELLA MECCANICA.*

ABERRAZIONE di refrangibilità, prodotta dalla diffusione del fuoco che deriva dalla diversa refrangibilità dei raggi, 1462. Opinione di Newton sull'impossibilità di distruggerla, 1464. *Vedi* Cannocchiali acromatici.

Aberrazione delle stelle; illusione che deriva dal moto progressivo della luce, combinato con quello della terra nella sua orbita, 1240—1246.

Aberrazione di sfericità, prodotta dalla diffusione del fuoco, che deriva dalla figura sferica delle lenti, 1460. Mezzo più semplice di rimediarvi, 1462.

Accelerazione del moto prodotto dalla gravità, 36 e seg. M. 61.

Accessi o ritorni di facile reflessione, o disposizioni d'uno stesso raggio ad esser reflesso da diverse grossezze d'una lastra sottile di qualunque sostanza, le quali sono fra loro come i termini della serie dei numeri dispari, 1152.

Accessi o ritorni di facile trasmissione, o disposizioni d'uno stesso raggio ad esser refratto da diverse grossezze d'una lastra, le quali corrispondono ai termini della serie dei numeri pari, 1152.

Acciaio. Riceve difficilmente il magnetismo, ma quando l'ha acquistato lo conserva per moltissimo tempo, 908. Esempio singolare della lunga durata di questo magnetismo, *ibid.*

Acqua. Sue principali proprietà fisiche in stato liquido, 318. Suoi usi, *ibid.* È stata considerata per molto tempo come un elemento, 319. Sua composizione, *ibid.* Suoi diversi gradi di purità, 320. Non apparisce compressibile, 321. Newton paragonando il potere refrattivo di questa con quello dell'altre sostanze, si era accorto che questo liquido conteneva un principio infiammabile, 1067. Sua decomposizione per mezzo dell'elettricismo galvanico, 852 e seg.; per mezzo dell'elettricismo ordinario, 856.

Acqua in stato di ghiaccio. Fenomeni che accompagnano il suo passaggio a questo stato, 385 e seg. Circostanze in cui l'acqua resta liquida sotto il termine della congelazione, 289 e seg. Origine dell'opinione che l'acqua la quale ha bollito, gela più facilmente di quella che non è stata esposta al fuoco, 391. Massima densità dell'acqua, 395 e seg. Cagione dell'aumento di volume dell'acqua nel congelarsi, 400 e 401. Forza espansiva del ghiaccio, 402—404. Congelazione dell'acqua prodotta da un'evaporazione accelerata, 227.

Acqua in stato di vapore. Circostanze che accompagnano il passaggio dell'acqua a questo stato, 207 e seg. Causa del calore che il contatto dell'acqua

vaporizzata eccita nei corpi, 410. In qual rapporto l'acqua si dilata nell'evaporare, 412. Effetti dell'acqua vaporizzata nell'eolipila, 413. Azione dell'acqua per produrre i moti delle macchine a vapore, 415 e seg.
Aerostati. Mezzi impraticabili proposti dagli antichi fisici per elevarsi in aria, 494. Primi aerostati pieni d'aria dilatata 495. Nuovi aerostati pieni di gas idrogene, 496. Vantaggi ritratti da queste macchine per il progresso della Fisica, 498.
Affinità, 31. Osservazioni che hanno suggerita l'idea di questa forza, 71 e 72. Prova che essa non agisce che a piccolissime distanze, 74—78. Equilibrio fra le affinità dei principii che formano le combinazioni neutre, 79—82. Paragone dell'affinità con la gravità, 83—86. Proprietà dei corpi solidi che hanno rapporto con l'affinità, 87—102. Newton è stato il primo a spiegare con l'affinità molti effetti fisici, 344.
Aghi galleggianti sopra un liquido; fenomeni che essi presentano, o loro spiegazione, 374.
Ago calamitato, o ago magnetico. Azione che il Globo terrestre esercita sopra esso, 866, 921 e seg. Sua declinazione, 923. Sua inclinazione, 924. Variazioni nella declinazione, 925—930. Impazzamento dell'ago, 931. Variazioni nell'inclinazione, 932. Variazioni nell'intensità delle forze che tendono a muover l'ago, 933 e 934. Eguaglianza delle forze che lo attraggono in parte opposta, 939 e 940. Forza direttrice dell'ago, 941 e 942. La resultante di tutte le forze che tendono a muovere le sue diverse parti, è una costante che passa sempre per il medesimo punto, 943—945. Differenza fra l'azione d'un globo e quella d'una calamita ordinaria sopra un ago magnetico, 946 e 947. Esperienza del doppio magnetismo, 951—953.
Alcool. L'aumento di densità che acquista la sua mescolanza con l'acqua, non è effetto d'impenetrabilità, 22. Inconvenienti dal suo uso nella costruzione del termometro, 269. Si alza meno dell'acqua nei tubi capillari, 341. Effetti particolari della sua fiamma relativamente alla trasmissione dell'elettricismo galvanico, 693 e 694.
Alisei (Venti); loro ritorno periodico 463.
Altezze. Metodo di misurarle per mezzo del barometro, 443 e seg.
Ambra gialla, ha dato il nome all'elettricismo, 583. n. a.
Anelli colorati. Serie di circoli di diversi colori che si osservano in uno strato sottile d'aria, contenuti fra la curva d'un obiettivo un poco convesso, e la superficie piana d'un altro piano-convesso, 1137. Rapporti fra i diametri degli anelli, 1137. Rapporti dei diametri fra i circoli intermedii nei punti in cui i colori si oscurano 1138. Aumento o diminuzione dei diametri degli anelli, secondo le diverse inclinazioni del raggio visuale, 1139. Altri anelli colorati veduti per refrazione nel luogo di questi circoli intermedii, 1140. Effetti prodotti dall'acqua sostituita all'aria, 1141 o 1142. Esperienza che presenta una specie d'analisi del fenomeno degli anelli colorati, 1143—1149. Conseguenze dedotte dalle osservazioni precedenti, relativamente alla colorazione dei corpi, 1153 e seg. Obiezioni a queste conseguenze, e risposte, 1027 e seg.
Angolo d'incidenza della luce nel caso della reflessione, 1016; nel caso della refrazione, 1027.
Angolo refrattivo del prisma, destinato alle esperienze sulla luce, 1064. Angolo visuale formato dei due raggi, che partendo dalle due estremità d'un oggetto vengono ad incrociarsi nella pupilla, 1225.
Angolo della parallasse annua, 1246.
Anguilla di Surinam, o ginnoto che intormentisce. Sua virtù elettrica, 844. Esperienza per mezzo della quale Walsh ha veduto comparire una scintilla nell'atto della scarica di questo pesce, 847.
Animale (Macchina) M. 53.
Apertura del telescopio, 1209.
Apparecchi d'un piccolo volume, ma che producono effetti distintissimi, e che son destinati per le esperienze elettriche, 612 e seg.
Arco animale, *Vedi* Elettricismo galvanico.
Arco-baleno. Sua descrizione, 1112. Spesso se ne veggono due, cioè uno interno e uno esterno, *ibid.* Spiegazione dell'arco interno, prodotto dai raggi efficaci di ciascun colore ossia

da quelli che son situati in modo, che l'angolo formato dagli emergenti con gl' incidenti è il massimo, 1114, 1121, 1122. Spiegazione dell' arco esterno, in cui l'angolo formato dai raggi efficaci emergenti con gl' incidenti è il minimo, 1117—1119, 1123. Larghezza dei due archi, e causa del loro aumento, 1124—1126. Circostanze che fanno variare la grandezza dell'arco-baleno, 1127. Terzo arco-baleno che si scorge qualche volta, 1129. La teoria indica che possono esistere moltissimi altri archi non visibili, *ibid.* Archi prodotti da alcuni raggi dispersi 1130. Esperienza con cui Antonio de Dominis aveva rappresentato il fenomeno dell'arco-baleno, 1130. Modo d' imitarlo con una pioggia artificiale, 1131. Varii effetti in cui si ravvisa una somiglianza dell' arco-baleno, *ibid.* Soluzione di una difficoltà dedotta dagli accessi di facile reflessione e di facile trasmissione, relativamente alla possibilità dell'arco esterno, 1178.

Arco eccitatore, *Vedi* Elettricismo galvanico.

Areometro. Sue diverse specie, 53 e seg.

Argento legato col rame. Dilatazione della mescolanza, 22. Elasticità, durezza, duttilità dell' argento, relativamente ai metalli più comuni, 99.

Aria. Considerata per molto tempo come uno dei quattro elementi, 420. Prove della sua impenetrabilità, 21. Quanto è utile per noi, 419. Sua composizione, 420. Questa è la medesima a qualunque altezza, 498. Esperienze che provano la sua gravità, 421—423. Determinazione della sua gravità specifica, *ibid.* In qual modo fu scoperto che la sua pressione è la causa dell' ascensione dell' acqua nelle trombe, 424 e seg. Pressione esercitata dall'aria sul corpo d'un uomo di media statura, 425. Inconvenienti che resultano da una diminuzione improvvisa di questa pressione, *ibid.* Elasticità dell'aria. Varie esperienze che servono a provarla, 431. L'aria si comprime quasi in ragione dei pesi comprimenti, 239. Diversi effetti che dipendono dalla compressione dell'aria, 432 e seg. Modo con cui si combinano la pressione e l' elasticità dell'aria nell' azione delle trombe, 436 e seg. Varii effetti che dipendono dalle stesse azioni, 441 e 442. Determinazione della legge con cui scemano le densità dell' aria, a misura che i suoi strati son più alti, 444, 445. Azione del calorico per dilatarla ed accrescerne l' elasticità, 244 e seg. Questa è la causa della doppia corrente d' aria che accade nelle stanze con camminetto, 466. Spiegazione del vento d'Est per una causa simile, 464. Cagione di una certa nebbia che si forma in un'aria che vien rarefatta, 482.

Aria considerata come conduttore del suono, *Vedi* Suono.

Arie dei venti, 462.

Armonici (suoni), *Vedi* Suoni comparati.

Arte di volare non propria dell' uomo, 493.

Asse di doppia refrazione, 1373 e seg.

Asse nella ruota, M. 44.

Assi ottici, 1217. Loro uso nella spiegazione del fenomeno della visione, 1227.

Atmosfera. Peso a cui equivale la sua pressione sul corpo d' un uomo di media statura, 425. Legge con cui scemano le densità dei suoi diversi strati, presi dal basso all' alto, 455 e 456. Diverse modificazioni di cui è capace, 460 e seg. Atmosfera considerata relativamente all'evaporazione, 471 e seg. Sua influenza per accrescere la quantità di vapore sparso dalla superficie della terra fino a una data altezza, 475. *Vedi* Aria. Quale sarebbe la sua altezza, se la sua densità fosse uniforme, 400. In qual modo i fisici hanno cercato di determinarla per mezzo della reflessione prodotta dal crepuscolo, 1064 e 1065.

Attrazione. Fenomeni da cui è nata l' idea di questa parola, 29. Sua divisione in due specie, 31. Legge a cui è soggetta quella che opera a distanze notabili, 40. Applicazione di questa legge all' attrazione d' un corpo sferico, 41, e a quella d' un corpo di qualunque forma, 42. Modo di render sensibili le attrazioni scambievoli dei corpi vicini a noi, 45.

Attrazione a piccole distanze, *Vedi* Affinità.

Attrazione molecolare, *Vedi* Affinità.

Attrazioni e repulsioni apparenti dei piccoli corpi che galleggiano sull' acqua, a poca distanza fra loro, vera spiegazione delle medesime, 372 e 373.

Attrazioni e repulsioni a piccole distan-

perficie sulla sua reflessione, 167 — 169. Influenza delle diverse nature delle sostanze sullo stesso effetto, 170 — 172. Breve esposizione delle teorie ammesse da Rumford e Leslie per spiegare questi effetti, 182—183.
Calorico sensibile, 148 e 149. Differenza fra la sua maniera d'operare e quella del calorico latente, 150 e 151.
Calorico specifico, 194 e seg. Modo di determinarlo per mezzo del calorimetro, 198 e 199.
Calorimetro. Sua descrizione e suoi usi 198—201.
Camera ottica. Sua origine, 1482. Spiegazione dei suoi effetti, 1483 e 1484. Descrizione d'una camera ottica portatile, 1485.
Campanello. Vibrazioni dei suoi varii anelli, quando si fa suonare, 500.
Campo d'un Cannocchiale, 1456.
Cannocchiale a quattro lenti. Sua descrizione, 1466 e seg. Perchè bisogna accorciarlo o allungarlo secondo che gli oggetti son più o meno lontani, 1467. Perchè gli oggetti che si guardano a traverso dei cannocchiali non comparirono sensibilmente più grandi che quando si guardano a occhio nudo a una giusta distanza, 1468.
Cannocchiale aeromatico. Suo effetto in generale, 1471. Storia della sua scoperta, 1467 e seg. Teoria dei suoi effetti, 1472 e seg. Modo con cui è composto il suo obiettivo, 1478. Esso non corregge l'aberrazione di refrangibilità, se non relativamente a questo obiettivo, 1479.
Canocchiale astronomico. Sua descrizione, 1454.
Cannocchiale Batavo o di Galileo: sua descrizione, 1455 e 1456.
Capacità di calorico, 157—159.
Carica per cascata, o modo con cui si caricano più bocce di Leida comunicanti fra loro, 711.
Catottrica. Scienza dei raggi reflessi, 841.
Caustiche per reflessione, 1278 e seg.
Caustiche per refrazione, 1428.
Celerità. In che consiste, 15.
Celerità angolare, 467, n. *a*
Centro d'azione. Cosa è, 41. Situazione dei centri d'azione in una tormalina, 619. In una calamita, 870 e 895.
Centri d'azione magnetica del globo terrestre. Osservazione del Capitano Parry, la quale indica che son situati a una gran distanza uno dall'altro, come accade proporzionatamente in una sbarra magnetica, 938.
Centro di gravità, M. 17.
Chilogrammo. Peso che equivale a 2 libbre, 5 grossi, 35 grani dell'antico peso di marco (*peso francese*), 69.
Coautchouc, 108, n. 11.
Cobalto. Sembra dotato delle proprietà magnetiche, 970.
Colori accidentali. In che consistono, 1187. Esperienze per mezzo delle quali si producono, 1188—1190. Principio sul quale è fondata la loro determinazione, in conseguenza della cognizione del colore che resulta da una data mescolanza di colori omogenei, 1191 e 1192. Applicazione di questo principio a un caso qualunque, 1194 e 1195. Spiegazione fisica della sensazione prodotta dai colori accidentali 1195 e 1197.
Colori considerati nella luce, 1082 e seg. Esperienze che provano la diversa refrangibilità dei raggi reflessi dai corpi, 1087 e seg. Altre esperienze le quali provano che la luce è composta d'un'infinità di raggi diversamente refrangibili, relativi a una gradazione di varietà di colori, che possono ridursi a sette specie, 1090—1098. Nuova esperienza che conferma le precedenti, per mezzo della luce in parte reflessa e in parte refratta, nel punto d'incidenza sulla base interna del prisma, 1099 e 1100. In qual senso debbano intendersi le espressioni, *raggi rossi, celesti, violetti*, cc. 1101. Colori dello spettro solare ridotti alla loro maggior semplicità, 1102. Determinazione del rapporto fra i seni d'incidenza e di refrazione dei raggi che danno i limiti dei sette colori principali, 1104—1106. Analogia fra la serie dei seni di refrazione relativa a questi limiti, e quella dei numeri che rappresentano la nostra scala musicale nel tuono minore, 1104. L'unione di tutti i colori produce il bianco, 1107. Esperienza singolare di Newton relativa a questo argomento, 1108. Quanto è poco fondata l'opinione di quelli che non ammettevano nella luce se non tre colori soltanto, 1109. Spiegazione degli effetti che presentano i colori degli oggetti visti a traverso del prisma, 1110 e 1111.
Colori considerati nei corpi. Dipendono in generale dalla disposizione che hanno questi corpi a reflettere una specie dei raggi più abbondantemente che l'altre, assorbendo tutto il resto 1133. Questa disposizione, a parità

di circostanze dipende dal grado di tenuità delle particelle di cui son composti i corpi, 1153 e seg. I colori son tanto più vivi quanto son più sottili le particelle, 1160. Cause dei riflessi di varii colori, che si osservano in alcuni minerali, 1161. Causa della differenza fra i corpi, i colori dei quali visti sotto diversi gradi d'obliquità son permanenti, e quelli i quali, nel caso stesso, presentano colori cangianti, 1162 e 1163. Colori prodotti in certi liquidi, che non ne avevano alcuno visibile, dalla mescolanza d'un liquido con un altro: ossia cambiamento d'un colore preesistente che accade nel medesimo caso, 1165. Colori dei corpi trasparenti, 1166. *Vedi*. Anelli colorati.
Colori dell'arco-baleno. *Ved*. Arco-baleno.
Combustione. Modo con cui la spiegavano gli antichi fisici, 316. Ciò che manca tuttora in questa teoria, 317.
Composizione di forze, M. 4.
Compressione. Suoi effetti sul calorico contenuto nei corpi, 228 e seg. Differenza fra gli stessi effetti e quelli del raffreddamento, 237 e 239.
Condensatore elettrico. Suoi effetti, 722.
Conduttore d'una macchina elettrica, 593.
Conduttori (Corpi) dell'elettricismo, 587. Distribuzione metodica di questi corpi, 838.
Conduttori umidi impiegati nella pila del Volta, 787.
Congelazione dell'acqua. Aumento di volume dell'acqua quando è vicina a congelarsi, 385. Determinazione del grado a cui corrisponde la massima densità, 395. Opinione sulla causa della dilatazione dell'acqua congelata, 371 e 372. Effetti della forza espansiva dell'acqua congelata, 402 e seg. Congelazione dell'acqua prodotta da una evaporazione accelerata, 227.
Congelazione del Mercurio, *Ved*. Mercurio.
Cono sfusato nell'oriuolo, M. 47.
Contatto immediato. Non esiste fra le molecole dei corpi, 8.
Contraccolpo, o scossa che si prova qualche volta a una maggiore o minor distanza dal punto in cui accade la scarica elettrica, 735. Circostanze in cui accade questo effetto per l'azione del fulmine, 736.
Contrazione dei corpi prodotta dalla compressione, 228 e seg. Contrazione dipendente dalla variazione di temperatura, 258 e seg.
Corda sonora. *Ved*. Suoni comparati.
Corde. *Ved*. Funicolari Macchine).
Corno da caccia. Scala musicale di questo strumento, 534.
Corona d'oro (Problema della) proposto ad Archimede, 47 e 51.
Corpi conduttori e corpi isolatori, *Vedi* Elettricismo.
Crioforo, 388. n. 19.
Cristalli. Cosa si intende con questo nome, 4.
Cristalli (Forme primitive dei), 106. Forme secondarie, *ibid*. Modo di determinare le forme primitive, 107 e seg. Forme delle molecole integranti dei cristalli, 112 e seg. Esposizione delle leggi alle quali è soggetta la struttura dei cristalli delle forme secondarie, 120 e seg. Generalità della teoria relativa a queste leggi, 133—136.
Cristallino. Specie di lente incassata nell'occhio, dietro al foro della pupilla, 1216.
Cristallizzazione. In che consiste, 103.
Cristallizzazione dei metalli per mezzo del raffreddamento che accade dopo la loro fusione, 408.
Cristallo di monte. Causa dei colori d'iride che esso presenta nei punti in cui è fesso, 1161.
Crown-glass. Specie di vetro della natura del vetro ordinario, 1478.
Cuneo. M. 50.
Curve magnetiche, prodotte dalla disposizione che prendono le particelle di limatura di ferro sparse sopra un piano, sotto il quale son poste verticalmente due sbarre calamitate, 886. Spiegazione di questo fenomeno, 887 e 888.

D

Declinazione dell'ago calamitato, 923. Sue variazioni, 925 e seg.
Decrescimento (Leggi di) alle quali è soggetta la struttura dei cristalli; determinazione di esse, 120 e seg. Loro fecondità, 132.
Densità. Cosa si intende con questo vocabolo, 7.
Diamante. Sua durezza, 88. Come Newton aveva in qualche modo indovinato che questa sostanza era combustibile, deducendolo dalla sua gran facoltà refrattiva, 1067 e 1068. Esperienze della combustione del diamante, 1073. Altre esperienze con le quali pure è stato provato che questo minerale non

è composto che di carbonio puro, 1075 e seg.
Diffrazione della luce. Idea di questo fenomeno 1385. Opinione di Newton e di altri fisici che la facevano dipendere da una forza repulsiva, che i corpi sottili esercitavano sulla luce, *ibid.* Sua spiegazione che Fresnel dedusse dal sistema delle ondulazioni, 1386. e seg. Prove che questa non è una ragion sufficiente per abbandonare il sistema dell'emissione, 1392 e seg.
Dilatazione dei corpi. Dipende da una porzione di calorico che diviene latente, 149. Spiegazione di questo argomento, 228 e seg. Dilatazione di diversi corpi solidi in forza delle variazioni della temperatura, 258—263.
Dilatazione dei gas e dei vapori, dal grado di ghiaccio che si fonde fino a quello dell'acqua bollente. In qual rapporto ciò accade, 250 e seg. Ragione dell'uniformità della legge che essa segue relativamente ai diversi fluidi, 252. Dilatazione dei gas a motivo della loro mescolanza coi vapori; maniera di determinarla, 294—299.
Diottrica, o scienza della luce refratta, 997. Progressi della Diottrica, 1310 e seg.
Dispersione della luce, o quantità di cui si dilata un raggio di luce, per effetto della refrazione, 1472. Essa non segue il rapporto della refrazione media nei diversi mezzi, *ibid.*
Distanza radiale, o distanza fra i due raggi derivati dalla doppia refrazione, presa sulla seconda superficie del mezzo refrattivo, 1324.
Distene o Cyanite. Anomalie che presenta questa pietra, relativamente all'elettricismo che essa acquista per mezzo della confricazione, 600.
Divisibilità. In che consiste, 23.
Divisione meccanica d'un minerale, 107.
Divisione dei corpi. Varie esperienze che provano fino a qual punto essa possa estendersi, 24 e seg. Bella idea di Newton sui limiti che le son prescritti, nello stato presente delle cose, 28.
Doppia refrazione. *Vedi* Refrazione.
Durezza. In che consiste, 87. Suoi rapporti con l'elasticità, 94.
Duri (corpi), 89.
Duttilità. In che consiste, 98. Sue diverse maniere di essere, 100. È una qualità preziosa relativamente all'uso dei metalli nelle arti, 101.

E

Ebullizione. Come si produce, 209. È il segno dell'evaporizzazione nascente, *ibid.* Accade a diverse temperature, al variar della pressione, 220 e 409.
Eccitatore. Suo uso per scaricare una boccia di Leida, 707.
Eco (spiegazione dell'), 512.
Elastica. Idea della curva così chiamata, 355.
Elasticità. In che consiste, 90. Sua causa tuttora ignota, 95. Sue variazioni nei diversi corpi, 97.
Elasticità dell'aria. *Vedi* Aria.
Elasticità della molla dell'oriolo. Come se ne corregge l'indebolimento, quando la molla si distende, 95, e N. 47.
Elementi. Ragioni speciose degli antichi filosofi per non ammetterne che quattro soltanto, 319.
Elettricismo. Breve esposizione dei suoi progressi, 583 e seg. Divisione dei corpi, relativamente all'elettricismo, in corpi conduttori e isolatori, 590 e seg. Cosa è un corpo isolato, 589. Principii su cui è fondata la costruzione della macchina elettrica, 593. Ipotesi di due fluidi diversi, 594 e 595. Idea dell'elettricismo positivo e negativo ammesso da Francklin 596, e 597, n. 32. Elettricismo vitreo e resinoso, 596. Differenza fra l'ipotesi relativa a questi due fluidi, e il sistema delle affluenze e delle effluenze, 597. Diversa specie d'elettricismo eccitata in corpi confricati con sostanze diverse, 598—600. Circostanze in cui il taffettà gommoso acquista l'elettricismo vitreo, 601. Elettricismo prodotto dalla pressione, o anco dal solo contatto dei diti, 602 e seg. Tensione elettrica, 606. Esperienze le quali provano che le azioni elettriche seguono la ragione inversa del quadrato della distanza, 601 e seg. Tendenza del fluido elettrico a spargersi sulla superficie dei corpi conduttori, 620. e seg. Prova che esso non ha affinità per alcun corpo, 628. Modo con cui si distribuisce tanto sulla superficie d'un sol corpo, quanto fra diversi corpi a contatto fra loro, 545 e seg. Forza coibente. Cosa è, 647. Legge con cui i corpi isolatori perdono a poco a poco il loro elettricismo, 647 e seg. Suddivisione dei corpi naturali dedotta dai varii gradi

della forza coibente, 652 e seg. Diversi resultamenti degli elettricismi combinati di due corpi, 660. Equilibrio degli stessi corpi considerati primieramente nello stato naturale, 661. Loro azione scambievole, quando gli elettricismi che hanno acquistato sono omogenei, 662 e seg., e quando sono eterogenei, 668 e seg. Azione d' un corpo elettrizzato sopra un corpo in stato naturale, 673 e seg. Scampanio elettrico, 676 e 677. Azioni dell'elettricismo acquistato da ciascuno dei due corpi sul fluido naturale dell'altro, 678 e seg. Azioni scambievoli di due corpi, il fluido naturale dei quali è stato decomposto, 682. Caso in cui le attrazioni e le repulsioni accadono contemporaneamente, 683. Considerazioni in favore dell' ipotesi d'un doppio fluido elettrico, fondate sulla difficoltà di spiegare la repulsione dei corpi elettrizzati negativamente, nel caso in cui si ammetta un solo fluido, 684: opinione contraria, 683, n. 46. Potere delle punte per emettere ed assorbire il fluido elettrico, 685 e seg. Fiocchetti elettrici, 690 e 691. Scintilla elettrica, 692. Pistola elettrica, 693. Effetti dell'elettricismo nel voto, 694. Odore elettrico, 695. Esperienza di Leida; modo di farla, 696. Idea generale della causa da cui dipende la scossa, 698. Spiegazione del fenomeno, 699 e 700. Le quantità di fluido vitreo e resinoso che escono dalle due superficie d' una boccia caricata per mezzo di contatti successivi, sono in ragione geometrica, 701. Propagazione sensibilmente istantanea della scossa, 702. Perchè la boccia non si carica quando è isolata, 704. La boccia si elettrizza tanto più fortemente, in parità di circostanze, quanto è più sottile, 705. Cause delle nuove scosse che dà la boccia anco dopo essere stata scaricata, 706. Modo di caricar la boccia resinosamente, 708. Uso dell'eccitatore per scaricar la boccia senza ricever la scossa, 707. Apparecchio portatile per l' esperienza di Leida, 709. Esperienza del quadro magico o fulminante, 710. Carica per cascata, o quella che accade quando più bocce sospese una all' altra si caricano scambievolmente, 711. Effetti delle batterie elettriche per bruciare i metalli o ridurli in polvere, 712. Spiegazione di questo effetto, 713. Maniera di ridurre alla teoria del due fluidi alcuni fenomeni che sembrano in contradizione con essa, 714 e seg. Teoria degli effetti dell' elettroforo, 718. eseg. Del condensatore, 722. Dell' elettrometro, 723. e 724. Strumento nel quale gli effetti dell' elettrometro si combinano con quelli del condensatore, 725. Scomposizione dell' acqua per mezzo dell' elettricismo, 714.

Elettricismo galvanico, 765 e seg. Sua origine, 767. Esperienze del Galvani sulle ranocchie, 769 e seg. Altre esperienze dello stesso genere fatte da varii fisici, 772 e seg. Arco animale e arco eccitatore, cosa è, *ibid.* In qual modo furono spiegate in principio le esperienze sulle ranocchie, 779 e seg. Teoria del Volta, 783 e seg. Vero principio dell' elettricismo galvanico scoperto da lui, 785. Modo di rappresentare con numeri gli stati di due dischi che son divenuti elettrici in virtù del loro contatto scambievolo, 786. Effetti dei conduttori umidi, 787 e 788. Modo con cui il Volta spiega l'effetto del contatto, 790. Costruzione della pila del Volta, e spiegazione della legge con cui variano le quantità di fluido dei suoi varii dischi, 791—793. Differenza fra una pila isolata e un'altra non isolata, 794—802. In che consiste il vero elemento della pila, 803. Analogia fra una tormalina divenuta elettrica per mezzo del calore, e la pila, 804. Pensiero di Newton sopra un'azione elettrica analoga a quella della pila galvanica, 805. Scossa prodotta dalla pila, 807. Se ne accresce l'energia frapponendo cartoni umidi, inzuppati d' una dissoluzione salina, 810. Modo di caricare una boccia di Leida con la pila, 811. Attrazioni prodotte dalla pila, 812. Scintille eccitate dal contatto d' un filo metallico con la pila, 813. Combustione d' un filo di ferro nel caso stesso, *ibid.* Paragone fra gli effetti di due pile formate d'un numero eguale di dischi, ma di diverso diametro, 814—817. Effetti della pila paragonati con quelli d' una forte batteria elettrica, 818. Varie sostanze con cui può formarsi una pila, 820 e seg. Gradazione notabile che si osserva in alcuni metalli soprapposti, relativamente alle loro diversità di stato, 821. Apparecchio a doppio rame, 824. Pila a grandi cassette, *ibid.* n. 60. Pila di Zamboni,

825. Effetti delle pile secondarie, 826 e seg. Sostanze che hanno una facoltà conduttrice particolare, relativamente all'elettricismo galvanico, 831 e seg. Modo di riguardare i fenomeni prodotti da questi corpi, 839. Pesci elettrici, 840. e seg. *Vedi* Torpedine. Scomposizione dell'acqua per mezzo dell'elettricismo galvanico, 851 e 852. Spiegazione più naturale che sia stata data fin qui di questo fenomeno, 853 e 854. Varii effetti chimici ottenuti dall'azione della pila, 856. Parallelo fra l'elettricismo della pila e l'elettricismo ordinario, da cui resulta che gli effetti dell'uno e dell'altro dipendono da uno stesso fluido, 857. Influenza dell'elettricismo galvanico sul magnetismo, 980 e seg. Fenomeni scoperti da Oersted, 982. e seg. Attrazioni e repulsioni galvaniche osservate da Ampère, 986—988. Osservazioni d'Arago, relative alla magnetizzazione per mezzo della corrente galvanica, 989. Reflessioni sui fenomeni elettro-magnetici, 991 e seg.

Elettricismo naturale, 706 e seg. Esperienze che hanno servito a provare l'identità della materia del fulmine e del fluido elettrico, 726 e 727. Effetti dei parafulmini, e modo di costruire questi strumenti, 732 e 733. Prove dei vantaggi di essi, 734. Effetti del *contraccolpo*, o della scossa che si provano ad una certa distanza dal punto in cui accade la scarica elettrica, 735. Questo effetto accade talora per l'azione del fulmine, 736.

Elettricismo prodotto dal calore, 615 e seg. Poli elettrici dei corpi capaci di questo modo d'elettrizzazione, 743. Apparecchio immaginato per distinguerli, 750. Spiegazione dei fenomeni che si osservano nella tormalina, 751 e seg. Ritorno dell'azione polare in modo inverso, in conseguenza dell'abbassamento di temperatura, 757 e seg. Correlazione fra le situazioni dei poli negli stessi corpi, e le forme delle parti nelle quali esistono questi poli, 762. Effetti dei cristalli di borato di magnesia, che hanno otto poli elettrici, 764.

Elettroforo. Sua descrizione e suoi effetti, 718 e 719. Modo di convertirlo in un quadro, che presenti disegni formati da due polveri, una di minio, e l'altra di solfo, 720 e 721.

Elettro-magnetiche (esperienze), 980 e seg.

Elettrometro. Sua descrizione, 723 e 724. Combinato col condensatore, 725.

Elettroscopii. Descrizione di due piccoli strumenti adattatissimi a farne le veci, 613 e seg.

Eolipila. Spiegazione dei suoi effetti, 413.

Equatore magnetico, 790.

Equilibrio, M. 3.

Erborizzazione che si osserva in alcune pietre. In qual modo son esse prodotte, 384.

Esperienza di Leida, 696 e seg. *Vedi* Elettricismo.

Estensione. Sua nozione dedotta soltanto dall'osservazione, 3.

Estinzione del fuoco per mezzo dell'acqua: quale ne è la cagione, 411.

Eite, o pietra d'aquila. Mezzi di renderla capace di agire sull'ago calamitato, 953.

Enclasio. Specie di pietra notabile per la fragilità combinata con la durezza, 89.

Evaporazione. Circostanze che la determinano, 207. Teoria di Le-Roy su questo argomento, 305—307. La stessa teoria modificata in conseguenza di nuove osservazioni, 309 e 310. Teorie di Delue e di Dalton, 311 e 312. Teoria di Laplace sola ammissibile, 313—315. Circostanze dalle quali dipende la quantità dell'evaporazione, 471 e 472. Evaporazione del ghiaccio, 474. L'evaporazione diminuisce la gravità specifica dell'aria, 300. È la causa dell'origine delle fontane, 491 e seg.

F

Facoltà conduttrice dei corpi, relativamente al calorico, 160—162. Facoltà conservatrice dell'elettricismo, 653.

Fantasmagoria. In che consiste quella specie d'inganno chiamato con questo nome, 1487. Sua spiegazione, 1488 e seg.

Fatamorgana. Nozione di questo fenomeno, 1250 e seg. Sua spiegazione, 1254 e seg.

Fasce senza declinazione, 926.

Ferro. Qual grado esso ha nell'ordine delle principali proprietà dei metalli più comuni, 99. È tanto meno atto al passaggio del fluido magnetico, quanto è più duro, 908. *Vedi* Magnetismo.

Ferro di miniera; suo magnetismo, 962 e seg. Spiegazione della specie di ro-

verrio che si osserva qualche volta nei poli dei pezzi staccati di questo minarale, *ibid.* Esperienze per cui è stato riconosciuto che la maggior parte dei cristalli di ferro prodotti dalla natura son vere calamite, 964 e seg.
Fiato degli animali. Perchè è visibile in tempi freddi 486.
Fiocchetti elettrici, 690, 691.
Figure dei corpi, 4.
Flauto. Principio a cui si riferisce la costruzione di questo strumento, 537.
Flint-Glass. Specie di vetro composto di minio, 1478.
Fluidi aeriformi. Nozione di essi, 215.
Fluidi elastici. Divisione di essi in più classi, 215. Legge a cui è soggetta la variazione del loro volume e della loro elasticità, in forza dell'azione del calorico, 239 e seg. Gravità specifica dei medesimi, 257. Circostanze in cui essi si uniscono o per via di semplice mescolanza, o di intima combinazione, 315. *Vedi* Evaporazione e Vapori.
Fluidità elastica; passaggio dei corpi a questo stato, 207—209. Spiegazione di varii fenomeni relativi a questo passaggio, 220—226.
Fluido elettrico. *Vedi* Elettricismo.
Fluido magnetico. *Vedi* Magnetismo.
Fontana di compressione. Suoi effetti, 431.
Fontana intermittente. Suoi effetti. 435.
Fontane. Varie opinioni sulla loro produzione, 490. La vera origine di esse è l'evaporazione, 491 e seg.
Forza o potenza. Cosa si intende, 13 e M. 2.
Forza coibente. Sua esistenza nei corpi isolatori, 647. Suddivisione dei medesimi corpi, dedotta dai varii gradi di essa, 652. Esistenza della stessa forza nei corpi magnetici, 869.
Forza direttrice d'un ago calamitato, 804.
Forza di torsione. In che consiste, 607,
Forza tangenziale, centrifuga e centripeta, M. 85.
Forza ad angoli diversi, M. 6 e seg.
Fotometro. Sua descrizione e suo uso. 1202.
Fragili (corpi), 89.
Franco. Unità monetaria del nuovo sistema metrico, 70.
Freddo. Consiste nella privazion del calore, 162. Esperienza che presenta una falsa apparenza d'un freddo reflesso, 166.
Fulmine, sue esplosioni, 730. Circostanze in cui l'azione delle nubi che lo contengono, gl'impediace di portarsi verso la terra, 731. Sua azione per sviluppare il magnetismo nel ferro, 961.
Fumo; sua formazione, 480.
Funicolari (macchine) M. 23 e seg.
Fuoco. Cosa si intende comunemente con questa parola, 316.
Fuoco dei raggi paralleli, quando la luce si reflette sulla concavità d'una superficie sferica, 1021. Fuoco dei raggi divergenti dopo la lor refrazione in un mezzo terminato da una sola superficie curva, 1031 e seg. Caso in cui il mezzo è terminato da due superficie curve opposte, 1040 e seg. Fuoco dei raggi paralleli nello stesso caso, 1041. I moti dei fuochi prodotti dai raggi refratti, accadon sempre nella stessa direzione di quelli dei punti raggianti, 1036, 1039 e 1043.
Fuoco immaginario, 1035.
Fuoco virtuale, *ibid.*

G

Galvanismo, *Vedi* Elettricismo galvanico.
Gass. Nozione di essi, 213. Metodo per determinare il rapporto nel quale cresce l'elasticità o la dilatazione di un gas, in una data temperatura, nell'unirai con un vapore di nota elasticità, ad egual temperatura, 294 e seg.
Gas idrogene. Suo uso nella costruzione degli aerostati, 496.
Gass insolubili. Rapporto nel quale si dilatano, dalla temperatura del ghiaccio che si fonde, fino a quella dell'acqua bollente, 249.
Gass solubili. Rapporto della lor dilatazione negli stessi limiti, 251. Ragione dell'uniformità a cui è soggetta la dilatazione dei gass, 252.
Gelo. Quanto è nocivo alla vegetazione, 404.
Ghiaccio. *Vedi* Acqua in stato di ghiaccio.
Gimnoto che intormentisce, specie di pesce elettrico, 846 e 847.
Globo terrestre. Fa le veci d'una vera calamita, 865, 866, 922 e seg. Sua azione sopra un ago portato successivamente in diversi punti della sua superficie; declinazione dell'ago, 923; la quale varia da un luogo all'altro, 925, è nulla in alcuni luoghi, 925 e 926, e varia col tempo anco nel luogo

stesso, 927. Le sue variazioni paragonate fra loro in diversi punti del globo, sono in rapporti diversi, 929. Variazione diurna, 930. Inclinazione dell'ago, 924. Sue variazioni da un luogo ad un altro, 932, e per successione di tempo nel luogo stesso, *ibid.* Impazzamenti dell'ago calamitato, 931. Variazioni nell'intensità delle forze che agiscono sull'ago, 933 e 934. Determinazione dei centri d'azione magnetica del globo, 935 e seg. Osservazione la quale indica che essi sono molto distanti fra loro, 938. Azione del globo terrestre per comunicare il magnetismo alle verghe di ferro, e ad altri simili corpi, la forza coibente dei quali non è tale da opporsi a quest'azione, 954, 959 e 960. Esperienza singolare che prova quanto facilmente il ferro dolce cede a quest'azione, 955 e 956. Soluzione del problema che consiste nel magnetizzare fino alla saturazione sbarre d'acciaio, senza l'aiuto di veruna calamita, 958. Varie ipotesi con le quali i fisici hanno tentato di spiegare le variazioni dell'ago calamitato, 971 e seg. Cosa manca per perfezionare la teoria del magnetismo, 978.

Globo terrestre. Magnetismo del ferro di miniera che esso contiene. *Vedi* Ferro.

Gnomonica. Principio su cui è fondata questa scienza, 1009.

Grammo. Unità di peso nel nuovo sistema metrico, 61 e 69.

Grandezza apparente d'un oggetto, 1067.

Grandezza reale d'un oggetto, 1067.

Grandine. In che differisca dalla neve, 736. Sua formazione fra due nubi elettrizzate in modi contrarii, 737 e seg.

Gravità. In che consiste, 32. Opinione di Cartesio sulla causa della medesima, 33. Differenza fra gravità e peso, 34. Eguaglianza del tempo che tutti i corpi impiegano a cadere nel voto, 36. Legge del moto accelerato che la gravità produce nei corpi. 35 e M. 61. Idea delle scoperte di Newton, derivate dal principio della gravità, 39. Diminuzione della gravità, insensibile a qualunque altezza a cui possa arrivar l'uomo, 43. Gravità reciproca dei corpi diviene insensibile in conseguenza dell'azione che il globo esercita sopra di essi, 44.

Gravità specifica. In che consiste, 46. Principio sul quale è fondata la sua determinazione, 47. Utilità di tal cognizione, 52. Esperienze relative al modo di determinarla, 50 a seg.

Gravitazione, 31.

I

Idrofana. Prova della porosità, dedotta da un'esperienza fatta con questa pietra, 9. Causa della trasparenza che, essa acquista, quando è immersa nell'acqua, 1173.

Idrogene, uno dei principii dell'acqua 319. Uso del gas idrogene nella costruzione degli aerostati, 496.

Idrometro, 55, n. 8.

Igrometria. Suo oggetto, 322.

Igrometro. Sua definizione, 322. Sue variazioni, 327—332. Varie cause che confondono le sue indicazioni, 333—336.

Igrometro di Saussure 325.

Igrometro di Deluc, 326.

Immagini degli oggetti, *Vedi* Visione.

Impenetrabilità, in che consiste, 20.

Inclinazione dell'ago magnetico, 923.

Inerzia. Vera nozione della medesima, 17—19.

Inflessione della luce. *Vedi* Diffrazione della luce.

Inganni ottici, o errori della vista, 1233. Convergenza apparente di due file d'alberi che formano un viale, ec. ec. 1234 e seg. Perchè la luna ci sembra più ampia sull'orizzonte che sul meridiano, 1239 e 1240. Inganni ottici che dipendono dal moto, 1241 e seg. Spiegazione dell'inganno ottico relativo all'aberrazione delle stelle, 1246—1249.

Intervalli di facile reflessione, e distanze dalla prima superficie d'uno specchio, che al pari d'un raggio son disposte ad esser reflesse piuttosto che refratte, 1166.

Intervalli di facile trasmissione, o distanze dalla prima superficie d'un mezzo, che corrispondono alle disposizioni d'un raggio ad esser trasmesso piuttosto che reflesso 1166.

Iride, *Vedi* Arco-baleno.

Isolati (corpi), *Vedi* Elettricismo.

L

Lampi, 728 e seg.

Lanterna magica. Sua descrizione, 1486.

Lega. Modera la duttilità dei metalli preziosi, 101: accresce la durezza di essi, *ibid.*

Lente, 1040. Fuoco dei raggi che cadono parallelamente sopra una lente, 1041. Effetti di questa specie di lente, relativamente alla visione degli oggetti situati al di qua del fuoco dei raggi paralleli, 1429 e 1433. Effetti della stessa lente, quando l'oggetto è situato al di là del fuoco dei raggi paralleli, 1434 e seg. caso in cui l'immagine è semplice, 1435. Inganno che ce la fa comparire situata dietro alla lente, *ibid.* Spiegazione di questi effetti, 1438, 1439. Modo di fare sparire questo inganno 1440 e 1441. Azione dei raggi solari riuniti nel fuoco d'una lente, 1443.

Lente biconcava. Suoi effetti, 1444 e seg.

Lente biconvessa. *Vedi* Microscopio.

Leva, M. 30 e seg.

Liquidi. Stato dei corpi che si chiamano con questo nome, 204. Conversione di essi in fluidi elastici, 207—209.

Liquidità. Passaggio dei corpi a questo stato, 204—206.

Litro. Unità di misura di capacità nel nuovo sistema metrico, 68.

Luce. Utile di questa teoria, perchè la luce procede geometricamente, 996. Varie opinioni sulla natura e sulla propagazione della luce, 998. Ragioni per cui sembra preferibile il sistema dell'emissione, 1000 e 1001. L'intensità della luce sopra uno spazio dato è in ragione inversa del quadrato della distanza dal corpo luminoso, 1002. La privazione della luce produce l'ombra, 1003. Effetti dell'ombra formata da un corpo globoso opaco, situato in faccia a un corpo luminoso della stessa forma, 1004 e seg. Penombra, o passaggio graduato dalla luce all'ombra pura, 1008. Principio su cui è fondata la Gnomonica, *ibid.* Celerità della luce, riguardata già come istantanea, 1010. Osservazioni che hanno servito a determinarla, *ibid.* Rapporti e differenze fra la luce e il calore, 1199. e seg.

Luce decomposta. *Vedi* Colori.

Luce inflessa. *Vedi* Diffrazione della luce

Luce polarizzata. *Vedi* Polarizzazione della luce.

Luce refratta. Suoi effetti relativamente alla visione in mezzi terminati da facce piane, 1313. Determinazione del punto che è come il centro d'azione dei raggi, i quali partendo da un punto raggiante situato nell'interno d'un mezzo refrattivo, si son refratti passando in un altro mezzo, 1314. Fenomeni prodotti dalla refrazione, relativamente alla visione degli oggetti immersi nell'acqua, 1315—1318.

Luce zodiacale, 1014.

Luna. Spiegazione dell'inganno che ce la fa sembrare più vasta sull'orizzonte che sul meridiano, 1238 e 1239.

M

Macchina animale, M. 53.

Macchina elettrica. Principii sui quali è fondata la sua costruzione, 593.

Macchina pneumatica, 422.

Macchine, M. 22.

Macchine a vapore, 415 e seg.

Magnesia (borato di). I suoi cristalli acquistano otto poli elettrici, per mezzo del calore, 764. Relazione notabile fra le situazioni di questi poli e le forme delle parti nelle quali essi sono, *ibid.*

Magnetismo, 858 e seg. A che si riducono le cognizioni degli antichi su questo proposito, 859. Prime teorie per spiegare gli effetti delle calamite, 860. Rapporti rilevati da Epino fra la teoria del magnetismo e quella dell'elettricismo, 861. Differenza fra i due fluidi elettrico e magnetico, 862. Ipotesi di due fluidi, considerati come principii componenti il fluido magnetico, 863. Analogia fra le calamite e i corpi idioelettrici, 864—868. Quale fra i due poli della calamita deve chiamarsi polo *boreale* e quale *australe*, 867. Esperienza con cui resta provato, che le azioni magnetiche seguono la ragione inversa del quadrato della distanza, 870—874. Attrazioni e repulsioni magnetiche, 875 e seg. Equilibrio di due pezzi di ferro nello stato naturale, 876. Attrazioni scambievoli di due calamite, per i loro poli di diversi nomi, e repulsione per quelli dello stesso nome, 877. Effetti delle azioni elettriche e magnetiche, esercitate da uno stesso corpo, 879. Azione d'una calamita sopra una sbarra, che era prima in stato naturale, 880.

Accrescimento di forza d' una calamita, di cui ci serviamo per comunicare il magnetismo a una sbarra di ferro, 881. Spiegazione di varii fenomeni che dipendono dalle attrazioni e repulsioni magnetiche, molti dei quali sembrano paradossi, 882—894. Distribuzione dei fluidi magnetici nell' interno d' una calamita, 895 — 899. Spiegazione d' un fenomeno singolare, cioè d' un pezzo di calamita, che staccato dalla calamita stessa presenta i due poli distinti, come la calamita stessa, 900 e 901. Facile esperienza che conferma la spiegazione precedente, 902. Comunicazione del magnetismo, 903 e seg. Punti conseguenti; in che consistono, 904 e 905. Rovesciamento dei poli d' un ago, 906. Differenze fra l' acciaio e il ferro dolce, relativamente alla comunicazione del magnetismo, 908. Metodo di calamitare con un solo contatto, 909. Descrizione del metodo del doppio contatto, 910 e 911. Condizione per ottenere il massimo effetto in questo genere, 912 e 913. Processo d' Epino per servirsene in un modo più vantaggioso, 914. Altra maniera usata da Coulomb, che rimedia all' inconveniente dei ponti conseguenti, 915. Modo di formare sbarre di moltissima forza magnetica, 916. Modo di calamitare un ago da bussola, *ibid.* Armature delle calamite naturali, in che consistono, 918—920. Condizioni che si richiedono relativamente alla grossezza dei medesimi, perchè producano il maggior effetto possibile, 921. Magnetismo sviluppato con varii mezzi meccanici, 960. Dall' azione del fulmine, *ibid.* Dalla scarica elettrica, *ibid.* Esperienze dalle quali sembra che resulti, che i corpi son capaci d' obbedire alla legge del magnetismo, 977. Paragone dei fluidi elettrico e magnetico, considerati relativamente al loro modo d' agire, 979.

Magnetismo del globo terrestre. *Vedi* Globo terrestre e Ago calamitato.

Magnetismo del ferro di miniera *Vedi* Ferro.

Magnetismo (doppio). *Vedi* Ago calamitato.

Manometro. Idea di questo strumento, 289 *n. c.*

Massa 57 e M. 57.

Mercurio. Prime esperienze sulla sua congelazione, 405. Determinazione del vero grado a cui essa corrisponde, 406. Vantaggiosamente impiegato nella costruzione del termometro, 269 e 270. Esperienze le quali provano che esso non fa eccezione alla legge dei tubi capillari, 360 e 361. Sua dilatazione assoluta, 274.

Meridiano magnetico, 923.

Metalli. Paragone di quelli che sono più in uso, relativamente all' elasticità, alla duttilità e alla durezza di essi, 99. Buoni conduttori del calore, 161. Riflettono il calorico raggiante quando sono puliti e levigati, 146. Cristallizzazione di essi per mezzo del raffreddamento che succede alla fusione, 408. Sono buoni conduttori dell' elettricismo, 587.

Meteore, 470, Meteore acquose, 476 e seg.

Metro. Unità di misure lineari nel nuovo sistema metrico, 60.

Mezzo. Quali sono i corpi che si chiamano con questo nome, 1027.

Mica. Mezzo usato per determinare la sottigliezza massima d' una lastra di questa sostanza che riflette il celeste puro, 1157 e 1158.

Microscopio semplice. Suoi effetti, 1449 e seg. Globetto di vetro, o goccia d' acqua, che si sostituisce qualche volta alla lente, per avere un microscopio semplice, 1453.

Microscopio a due lenti. Sua descrizione 1480. Vantaggi di queste specie di strumenti, 1481.

Microscopio solare, 1492 e 1493.

Minerali. In qual modo crescono, 104. Differenza notabile che li distingue dagli esseri organizzati, *ibid.*

Minio o ossido rosso di piombo. Suo uso per la fabbricazione del flint-glass, 1478.

Miopi. In che consiste il difetto della vista in quelli che si chiamano con questo nome, 1447. Come si rimedia a questo difetto, *ibid.* Varie abitudini dei miopi, 1448.

Misure (nuove). Esposizione del loro sistema, 64.

Mobilità. In che consiste, 13.

Molecole elementari dei minerali, 113.

Molecole integranti dei cristalli, 113 e seg.

Molecole che riflettono o refrangono la luce; di qual ordine esse sieno, 1156.

Molecole sottrattive dei cristalli, 1137.

Mollezza. In che differisca dalla duttilità, 102.

Molli (corpi), 89.

Moto. Sue diverse specie, 14, e M. 3; uniforme, M. 56, sue leggi, M. 58; uniformemente accelerato, M. 60; comunicato, M. 70; rettilineo, M. 71; curvilineo, M. 82.
Mulino a vento. Modo con cui opera il vento per far girare le ale di questa macchina, 469. n. *a*.
Mussoni, venti periodici, 463.

N

Nastro del Volta; cosa sia, 830.
Nebbie. Formazione di esse, 478—481. Sparizione delle medesime, 482.
Neve. Sua formazione, 483 e 484.
Neri (corpi), son quelli che assorbiscono quasi tutta la luce che giunge ad essi, 1135.
Nickel. Sembra che possegga di natura sua le proprietà magnetiche, 967 e 968. Sua virtù magnetica paragonata a quella dell' acciaio, *ibid.* Resultamento delle esperienze fatte da Laugier per verificarla, 969.
Nubi. Formazione di esse, 478.

O

Obiettivo, lente del cannocchiale che è dalla parte dell' oggetto, 1454.
Occhiali. Scoperta dei medesimi, 1309. Loro effetti, 1442.
Occhio. Quanto è ammirabile questo organo, 1215. Descrizione della sua struttura, 1216.
Oculare, lente del cannocchiale, la quale è dalla parte dell' occhio, 1454. È qualche volta doppio o triplo, 1457.
Odore elettrico, 695.
Odori, provano fino a qual punto è divisibile la materia, 25.
Ombra, 1003. Condizioni che ne determinano la figura, 1004 e seg. Suo uso per misurare a un dipresso l' altezza d' una torre, 1009, n. *a*.
Opacità. Quali ne sono le cause, 1172.
Opale. Cagione dei bei reflessi colorati che essa tramanda dal suo interno, 1161.
Orecchio. Finezza di tatto di questo organo, 546. In qual modo diversi suoni prodotti insieme giungono senza confondersi all' orecchio, il quale ne rileva le diverse impressioni, 544 e 545.
Oro. Di quanta divisione ed estensione è capace, 26. Suo grado nell' ordine delle principali proprietà dei metalli più comuni, 99. In qual maniera può impedirsi che i lavori d' oro perdano la loro perfezione, cosa accaderebbe impiegando in essi oro puro, 101.
Orologii. Cambiamenti prodotti nella lunghezza del loro pendolo dalla variazione di temperatura: modo di impedirli, 261.
Oscillazioni (piccole) dei diversi punti d' una corda che produce il suono, 499; e delle diverse parti d' un campanello che suona, 500. Piccole oscillazioni dell' aria prodotte da quelle dei corpi sonori, 499. Considerazione di esse applicata alla teoria della propagazione del suono, 530 e seg. Piccole oscillazioni che producono alcuni circoli, i quali si intersecano sulla superficie dell' acqua sulla quale sono stati gettati alcuni sassi, 545.
Ossigene, uno dei principii dell' acqua, 319.
Ossigene (gas), uno dei principii dall' aria, 519.
Ossigene e idrogene. Diversità delle azioni esercitate sopra essi dai due poli della pila galvanica, 851.
Ottica. Scienza della luce diretta, 997.
Ottone. La sua densità supera la somma delle densità del rame e del zinco di cui è composto, 22.

P

Paradosso meccanico, M. 22.
Parafulmini. Costruzione e vantaggiosi effetti di essi, 732 e seg.
Parallelogrammo delle forze, M. 6.
Particelle dei corpi. Son trasparenti anco quelle dei corpi opachi, 1153. Di qual ordine son quelle che riflettono i colori proprii di varii corpi, 1156.
Pavone. Causa dei cambiamenti dei colori che abbelliscono le sue piume, secondo le varie situazioni dell' occhio, 1163.
Pendolo. Sue leggi, M. 90.
Pendolo compensatore, 261.
Penetrazione apparente nella mescolanza di certi corpi, 22.
Penombra. Passaggio che fa gradatamente la luce all' ombra pura, 1008.
Pesci elettrici. *Vedi* Torpedine, Anguilla di Surinam, e Siluro tremante.
Pesi (unità di) relativa al nuovo sistema metrico. Metodo seguito nel determinarla, 60.
Peso. In che differisce dalla gravità, 34.

Piano inclinato, M. 48. Cadnta d'un corpo per un piano inclinato, M. 65. A questa teoria si riduce la cadnta d'un corpo per una corda di circolo e per un diametro. M. 67.
Piatto collettore d'un condensatore, 725.
Pietra d'aquila o Etite. Mezzo di renderla capace d'agire sull'ago calamitato, 953.
Pignatta di Papin. Suoi effetti, 223.
Pila del Volta, 791 e seg.
Pile secondarie; 826.
Pioggia. Circostanze che la producono, 485.
Piombo. Suo grado nell'ordine delle principali proprietà dei metalli più comuni, 99. Uso del suo ossido rosso nella fabbricazione del flint-glass, impiegato per i cannocchiali acromatici, 1478.
Pistola elettrica. Spiegazione del suo effetto, 693.
Platino. Il più denso di tutti i metalli conosciuti, 52. Gli specchii fatti con questo metallo son migliori degli altri, perchè resistono alle impressioni dell'aria, ma sono inferiori in quanto al potere reflettente, 1298.
Polarizzazione della luce. Principio da cui parte la teoria dei fenomeni che si riferiscono ad essa, 1397. Esperienze nelle quali la luce polarizzata conserva la sua bianchezza, 1398. In che consiste il carattere distintivo della polarizzazione, 1399. Determinazione approssimativa del massimo grado di polarizzazione, relativamente ad una data sostanza, 1402. Nuove esperienze in cui la luce resta bianca, 1403. Descrizione e uso d'un apparecchio semplice destinato per questo genere d'esperienze, 1405 e seg. Polarizzazione in cui la luce si suddivide in due raggi tinti di colori supplementarii uno dell'altro, 1411 e seg. Altre esperienze nelle quali la luce polarizzata soffre diverse modificazioni, 1419 e seg. Teoria dei fenomeni relativi a questo argomento, proposta da Biot, 1426 e seg.
Poli elettrici, 744.
Poli magnetici 867.
Porosità, 7. Esperienze che servono a variarla, 8 e 9.
Potenza o forza. Cosa s'intende con questa parola, 13.
Potere assorbente e potere emissivo dei corpi relativamente al calorico, 153.
Potere refrattivo d'un corpo. Metodo usato da Newton per determinarlo, 1066. Quello dei corpi combustibili è maggiore, a densità eguale, di quello dei corpi non combustibili, 1067. Conseguenze che Newton ha dedotte da questa differenza, relativamente alla natura del diamante e a quella dell'acqua, 1068.
Presbiti. Qual'è il loro difetto di vista 1442. Mezzo di rimediarlo, *ibid*.
Prisma destinato alle esperienze sulla luce, 1084 e 1085. Situazione nella quale l'immagine dello spettro solare prodotta dal prisma diviene stazionaria, 1086. Spiegazione delle apparenze che si osservano negli oggetti visti a traverso di un prisma, 1110.
Propagazione della luce, *Vedi* Luce.
Propagazione del suono, *Vedi* Suono.
Proprietà più generali dei corpi, 2—18.
Puleggia, M. 28.
Punte. Potere di esse per assorbire ed emettere il fluido elettrico, 688 e 689.
Punti cardinali, 462.
Punti conseguenti d'una calamita, 904 e 905 di certi corpi elettrici per calore, 907.
Punto d'emergenza, o quello per il quale un raggio di luce esce da un mezzo, 1027.
Punto d'immersione, o quello per il quale un raggio di luce entra in mezzo, 1027.
Prospettiva. In che consiste, e quale è la causa dell'inganno che produce in noi, cioè di quell'effetto per cui vediamo gli oggetti che essa rappresenta, quasi come se gli avessimo davanti agli occhi, 1238.

Q

Quadro magico o fulminante, 710.
Qualità occulte dagli antichi. I moderni sono stati senza ragione accusati d'aver riprodotta quest'idea, 1063.
Quantità di moto. In che consiste, 16: e M. 58.

R

Raffreddamento. Legge alla quale è soggetto, 175. Influenza di certi intonachi per farne variare il progresso, 180. Influenza dell'agitazione dell'aria sulla sua durata, 181. Differenza fra il suo effetto e quello della compressione, 237 e 238.

Raggio dalla luce. In che consiste in ciascuna delle due ipotesi relative alla propagazione della luce, 998.
Raggio straordinario, relativo alla doppia refrazione, 1324
Rame. Suo grado nell' ordine delle proprietà dei metalli più comuni, 99.
Ranocchie (Esperienze sulle): sono state l' origine delle prime cognizioni sull' elettricismo galvanico, 769 e seg.
Reflessione della luce; accade ad angolo eguale a quello d' incidenza, 1016. Suoi effetti quando incontra una superficie piana, 1017 e 1018; quando la superficie reflettente è concava e sferica, 1019 a seg.; quando la superficie è convessa e sferica, 1024 e seg. Rapporto fra la reflessione e la refrazione, 1046—1048. Ragioni per credere che la reflessione della luce dipenda da una certa forza sparsa uniformemente sulla superficie dei corpi, e che opera a piccolissime distanze, 1050—1053.
Refrazione della luce, 1026. Accade in modo che per uno stesso mezzo il seno dell'angolo di refrazione è in rapporto costante con quello d' incidenza, 1028. Sua legge inutilmente cercata da Keplero, 1312 scoperta da Snellio, *ibid.* Cartesio sostituisce al rapporto delle cosecanti quello dei seni, *ibid.* Effetti della refrazione considerata nei mezzi terminati da superficie curve, 1030 e seg. Caso in cui il mezzo è terminato da una sola superficie curva, 1031 e seg. Caso in cui il mezzo è terminato da due superficie curve opposte, 1040. e seg. Rapporto fra la refrazione e la reflessione, 1046—1048. Idee dei Fisici per ridurre la refrazione alle leggi della meccanica, 1055. Spiegazione della refrazione per mezzo dell' attrazione nelle piccole distanze, 1056—1058. Dimostrazione del rapporto costante fra i seni d'incidenza e di refrazione, 1037, n. *a.* Spiegazione del caso in cui la refrazione si cambia in reflessione totale, 1059. Pensieri di Newton sulla refrazione e sulla reflessione considerate come dipendenti dalla medesima causa, 1060—1063. Refrazione a traverso dei corpi combustibili più forte, a densità eguale, che nei corpi non combustibili. *Vedi* Potere refrattivo.
Refrazione (doppia). Scoperta da Bartholin, 1320. Sua vera legge scoperta in principio da Huygens, 1321. Ragioni per cui è stata mal conosciuta per più d' un secolo, *ibid.* Andamento della luce che si refrange doppiamente a traverso d' un romboide di spato d' Islanda, 1322. Definizioni del raggio ordinario e del raggio straordinario, 1323 e 1324. Distanza radiale, *ibid.* Raddoppio delle immagini per mezzo d' un solo romboide, 1327 e seg. Modo d' osservare le variazioni della distanza radiale, 1331 e 1332. Spiegazione della differenza fra le distanze di due immagini relativamente all' occhio, 1334 a seg. Corso della luce a traverso di due romboidi soprapposti, 1338 e seg. Teoria di Newton, 1344. Teoria d'Huygens, 1348. Ricerche per mezzo delle quali Wollaston e Malus hanno riconosciuto che essa si accordava con la vera legge del fenomeno, *ibid.* Determinazione approssimativa della legge d'Huygens, 1349—1351. Idea di Newton sulla causa fisica dello stesso fenomeno, 1352 e 1353. Generalità degli effetti della refrazione, osservati primieramente nei romboidi soprapposti di spato d' Islanda, 1354 a 1356. Scoperta di Biot di due specie di refrazione, chiamate una *attrattiva* e l'altra *repulsiva*, 1357. Limiti relativi alla doppia refrazione i quali esistono nella struttura dei cristalli, 1360. Esempio dedotto da quelli che derivano dal romboide del carbonato di calce, 1361. Altri esempii dedotti dai cristalli che appartengono a diverse sostanze, 1363 e seg. Usi delle osservazioni precedenti per determinar l' asse della doppia refrazione, 1373. Suddivisione dei corpi naturali, dedotta dalla doppia refrazione, 1380 e seg.
Refrazione media; in che consiste, 1472.
Repulsione. Da quali effetti ne è nata l' idea, 30.
Resistenza, M. 2.
Retina, membrana che copre il fondo dell' occhio, 1216.
Risonanza (tripla) dei corpi sonori, 516 e seg.
Rosa dei venti. Sua descrizione, 462.
Rugiada. Sua formazione prodotta dal raggiar del calorico, 185 e seg. In quella che bagna l' erba d' un prato, si vede talora una copia dell' arco-baleno. 1132.
Ruote dentate, M. 45.

S

Sal marino. Sua estrazione favorita da un' evaporazione preliminare, 471.
Sali neutri. Ragione per cui i nuovi prodotti che si formano, quando questi sali cambiano fra loro le loro basi, restano nondimeno nello stato neutro, 81 e 82.
Sapone alcalino; suoi effetti particolari, relativamente alla trasmissione dell' elettricismo galvanico, 836.
Sbarra magnetica; *Vedi* Magnetismo.
Scala diatonica. Sua formazione, 524.
Scampanio elettrico. Spiegazione de' suoi effetti, 676.
Scarica d' una boccia di Leida, 700 e 707. Sua azione per sviluppare il magnetismo nel ferro, 960.
Scintilla elettrica, 692. Sua azione per accendere l' alcool e l' etere; *ibid.*
Scossa elettrica per mezzo della boccia di Leida, 696; per mezzo della Pila del Volta, 807—810. In che differiscono una dall'altra, 816. *Vedi* Elettricismo.
Serbatoio comune, 595.
Sifone. Il suo effetto dipende dalla pressione dell' aria, 441, e *ibid.* n. 25.
Siluro tremante. Specie di pesce elettrico, 846.
Sistema metrico (nuovo). Breve esposizione della sua distribuzione, 64—70.
Sistema di corpi, M. 3.
Solari (macchie).
Solidità. Cosa è, 6. Ritorno dei liquidi o dei fluidi a questo stato, 210—212.
Sonometro, 517.
Sotterranei. Perchè li troviamo freddi nell' estate, e caldi nell' inverno, 162.
Spato d' Islanda. Nome dato ai romboidi trasparenti di calce carbonata, 602.
Spazio, M. 57.
Specchio. Sue proprietà, 1261.
Specchio concavo. Suoi effetti in generale, 1276. Caustiche prodotte in virtù delle intersezioni dei raggi reflessi sulla superficie d' uno specchio concavo, quando i raggi incidenti partono da uno stesso punto raggiante, 1277 e seg. Moti delle caustiche, mentre il punto raggiante si avvicina o si allontana dalla superficie reflettente, 1279—1282. Applicazione ai diversi casi in cui si veggono le immagini al di qua o al di là della superficie dello specchio, 1283 e seg. Uso dello specchio concavo nella costruzione dei telescopii, 1298. Effetti dello specchio per abbruciare, fondere o vetrificare i corpi esposti al suo fuoco, 1299. Esperienza in cui si riuniscono gli effetti di due specchi concavi, 1300. Sostituzione di molti specchi piani a uno specchio concavo, 1301 1302. Come sembra che debba intendersi ciò che hanno detto gli antichi del mezzo impiegato da Archimede per abbruciare la flotta dei Romani, 1303.
Specchio cilindrico; suoi effetti, 1308.
Specchio conico. Suoi effetti, *ibid.*
Specchio convesso. Formazione delle caustiche prodotte dietro alla superficie d' uno specchio convesso, nei punti in cui si intersecano i prolungamenti dei raggi, i quali, partendo da un punto raggiante, si son reflessi sulla stessa superficie, 1304. Effetti dello specchio convesso, 1305—1307.
Specchio piano, rappresenta le immagini dietro alla sua superficie, a egual distanza di quella in cui l' oggetto si trova al di qua, 1262. Esso le rappresenta altresì della medesima grandezza nella stessa situazione, 1263. Non possiamo vedere in uno specchio piano se non una parte di noi stessi, di cui l' altezza sia doppia di quella dello specchio, *ibid.* Conoscendo la distanza dell' occhio dallo specchio, e le altezze dello specchio e dell' oggetto, si può determinar la distanza alla quale sarà visto l' oggetto intero in una situazione parallela a quella dello specchio, 1264. Moti dell' immagine, doppii di quelli dello specchio, 1265 e 1266. Spiegazione dell' effetto che accade, allorchè inclinando il raggio visuale, si scorgono per mezzo d' uno specchio molte immagini d' uno stesso oggetto, 1268 e seg.
Specchio ustorio; suoi effetti, 1443.
Spettro solare, o immagine colorata del Sole, prodotta dalla luce che è passata a traverso d' un prisma, 1090 e seg. Differenza che è stata osservata fra i raggi che lo compongono, relativamente alle loro facoltà calorifiche 1202—1206. Differenza fra gli stessi raggi, relativamente alla loro facoltà illuminante, 1207. Esperienze sulla facoltà calorifica crescente dei raggi stessi, andando dal violetto al rosso, 1208—1210. Altre esperienze sull'azione chimica dei raggi oscuri che esistono al di là del violetto, 1211. Ipotesi relative ai resultamenti di queste diverse esperienze, 1212 e 1213.

Stadera, M. 37.
Stagno. Suo grado nell'ordine delle proprietà dei metalli più comuni, 39.
Stero, misura di solidità eguale al metro cubo, 67.
Strumenti a fiato. Teoria della propagazione del suono dedotta dalla maniera con cui è prodotto in questi strumenti, 530 e seg.
Strumenti d'ottica. Descrizione dei più importanti, 1454.
Struttura dei cristalli, *Vedi* Cristalli.
Sudore o traspirazione sensibile, 10.
Suono. Resulta da un moto di vibrazione impresso all'aria dai corpi sonori, 499 e 500. Effetti di questo moto sull'acqua contenuta in un bicchiere di cui si fregano gli orli con un dito bagnato, 501. L'aria è il conduttore del suono, 503—505. L'acqua e altri corpi solidi son pur capaci di trasmetterlo, 506 e 507. Celerità del suono, 509. Idea che può far conciliare con i resultamenti dell'osservazione quelli della teoria, dalla quale resulta minore del vero la celerità del suono, 510. Diverse celerità del suono, secondo i diversi corpi che lo trasmettono, 511. Reflessione del suono; suoi effetti nei luoghi chiusi, 512. Esso è la causa degli Eco, *ibid.* Proprietà delle volte ellittiche, relativamente alla reflessione del suono, 513.
Suoni comparati, 514 e seg. Principali intervalli che resultano da questa comparazione, 516. Corde sonore; formule per determinare il numero delle loro vibrazioni in un tempo dato, *ibid.* Triplice risuonanza d'una corda sonora, 518. I tre suoni che fa sentir questa corda, sono i primi termini d'una serie infinita d'armoniche, 519—522. Esperienza di Tartini 523. Altra esperienza nella quale le due parti d'una corda divisa con un leggiero ostacolo, si suddividono esse pure in molte porzioni eguali, 524. Formazione della scala usuale, con la riunione di tre accordi perfetti, 526. Ragione per cui questa scala è stata preferita a quella compresa nella serie delle armoniche d'una corda sonora, 527. Necessità d'alterare per mezzo del *temperamento* le terze e le quinte, nell'accordo degli strumenti a corda, 528 e 529. Teoria della propagazione del suono, 530 e seg. Modo con cui più suoni prodotti nel tempo stesso si propagano senza confondersi, 543 e 545. Diverse gradazioni nelle qualità dei suoni prodotti da diversi corpi, 546.
Superficie vibranti, *Vedi* Vibrazioni.

T

Taffettà gommoso. Modo con cui si elettrizza per mezzo d'un corpo applicato per pressione sulla sua superficie, 601.
Tatto. Come si combina la sua azione con le impressioni che riceve l'occhio, per aiutarci a giudicare delle forme, delle grandezze e delle distanze degli oggetti, 1220 e seg.
Telescopio. Sua scoperta, 1310. Da che dipendono in generale i suoi effetti, 1453.
Telescopio astronomico. Sua descrizione e suoi effetti, 1454.
Telescopio catadiottrico, 1465.
Telescopio diottrico, 1460.
Telescopio Gregoriano. Sua descrizione, 1466.
Telescopio Newtoniano. Sua descrizione, 1464 e 1465.
Temperamento nella musica; in che consiste, 528 e 529.
Temperatura, cosa si intende con questa parola, 139.
Tempo. Come deve considerarsi nella valutazione della celerità, 15. Rapporto fra i tempi e gli spazii percorsi in virtù del moto accelerato dipendente dalla gravità, 37 e M. 57.
Teneri (corpi), 89.
Tensione del calorico, 139.
Termometro (idea del), 140 e 191. Sua origine, 264. Condizioni necessarie per ottenere un buon termometro, 266. Vantaggioso l'uso del mercurio nella costruzione di questo strumento, 269—272. Perchè è indifferente che resti un poco d'aria nella parte superiore del tubo, 273.
Termometro centigrado, 268.
Termometro d'Amontons, 246.
Termometro di Delisle, 276.
Termometro di Farenheit, 275.
Termometro di Firenze, 266.
Termometro di Réaumur; sua descrizione, 267.
Termometro differenziale; sua descrizione, 264.
Termometro moderno; modo di costruirlo, 268.
Termometro metallico di Bregnet, 277 e seg.
Termoscopio, sua descrizione, 163. Circostanze notabili in cui resta stazionario, 173 a 174.
Terra. Riguardata per molto tempo come uno dei quattro elementi, 319. *Vedi* Globo terrestre.

Terraglie. Gl' inconvenienti che nascono dall' essere esse non buoni conduttori del calorico, non possono scemarsi che a scapito della solidità, 263.
Topazzo. Esempio particolare d' un cristallo di questa specie, che essendo elettrizzato per via di calore, aveva alcuni punti conseguenti analoghi a quelli dei corpi magnetici, 907.
Tormalina. Virtù elettrica che essa acquista per mezzo del calore, 745. Sua azione sopra un corpo in stato naturale, 747. Determinazione dei suoi due poli, 748 e seg. Attrazioni e repulsioni che ciascuno dei suoi poli esercita sopra corpi leggieri, 754. Esperienza relativa alla distribuzione dei due fluidi nel suo interno, 755. Fenomeno che si osserva in una tormalina spezzata, 756. Ritorno della virtù polare in modo inverso, in tempo del raffreddamento della pietra, 757 e seg. Correlazione fra la forma delle tormaline e le situazioni dei suoi poli, 762. Analogia fra una tormalina divenuta elettrica per via di calore, e la pila di Volta, 804. Dai fenomeni della tormalina è stata rilevata la connessione fra la teoria del magnetismo e quella dell' elettricismo, 861.
Torpedine, 840 e seg. Descrizione del suo organo elettrico, 841. Opinioni degli antichi fisici sulla causa della scossa che fa provare a chi la tocca, 843 e 844. Esperienze per mezzo delle quali è stato riconosciuto che questa scossa dipendeva dall' elettricismo, 845 e seg. Idea di Walsh sul modo con cui opera il fluido elettrico in questa scossa, 849. Idea del Volta sull'analogia fra la combinazione delle sostanze che compongono l' organo della torpedine, e quella dei corpi di cui è composta la pila, 850.
Torrenti. Causa di essi, 491.
Trasparenti (corpi). Effetti degli accessi di facile reflessione e di facile trasmissione in quelli che sono senza colore, 1166—1169, e in quelli che son colorati, 1174 e 1175.
Traspirazione. Resultamento di quella che si chiama *sudore*, paragonato con quella della traspirazione insensibile, 10.
Triangolo delle velocità, M. 61.
Trombe. Loro descrizione, 488.
Trombe, 436 a seg.; prementi, 437 a 438; aspiranti, 439. Mezzo di rimediare a un vizio di costruzione, a cui esse sono sottoposte, *ibid.*, aspiranti a prementi, 440.
Tubi capillari. Idea generale dei fenomeni che in essi si osservano, 337—341. Varie cause con cui sono stati spiegati questi fenomeni, 318 e seg. Antiche opinioni su questo proposito, 343. L' attrazione in piccole distanze è la vera causa di questi fenomeni, 344 e 345. Diverse maniere con cui Hauxbée, Jurin, Witbrecht e Clairaut hanno procurato di spiegarli, 345 e 346. Vera teoria di essi, esposta da Laplace, 348 e seg. Azione d' una massa di liquido sopra una colonna situata nell' interno, 349—357. Applicazione della teoria ai fenomeni dei tubi capillari, 358 e seg. Cagione dell' abbassamento del mercurio sotto il livello, 360 e 361. Caso in cui il liquido è terminato da una superficie cilindrica, 362 e 363. Circostanza in cui l' acqua si eleva sopra il suo livello, formando un'iperbola, 364. Moti dei liquidi nei tubi capillari di figura conica, o fra due lastre inclinate fra loro ad angolo acutissimo, 365 e 366. Effetti della capillarità sulle pareti dei corpi che contengono il liquido, 379—382. Applicazione della teoria alle attrazioni e repulsioni apparenti dei piccoli corpi che galleggiano sopra un liquido, 372—374. Circostanze da cui dipende la concavità o la convessità della superficie del liquido, 375—378. Influenza dell' attrito sulla capillarità, 379—381. Analogia fra alcuni effetti noti e quelli dei tubi capillari, 383 e 384.

U

Umidità. In che consiste, 322.
Unità di pesi, *Vedi* Pesi.
Unità di tempi impiegata nella considerazione del moto uniforme, 15.
Urto diretto dei corpi duri, M. 72; dei corpi elastici, M. 75.
Urto obliquo dei corpi, M. 78.

V

Vapore vescicolare, 476 e seg.
Vapori; 207 e 215. Rapporto in cui essi si dilatano dalla temperatura del ghiaccio che si fonde, fino a quella dell'acqua bollente, 251. Legge a cui son soggette le forze elastiche degli stessi fluidi, a misura che le temperature di questi fluidi variano di quantità

eguali, 253 e 254. Effetti della mescolanza di essi col gas, 285 e seg. La loro quantità in uno spazio dato è costante per una stessa temperatura, 286—293. Gravità specifica del vapore dell' acqua, paragonata con quello dell'aria 300. Accordo della teoria con l'osservazione sulla capacità dell'aria per questo vapore, 301. Differenza fra l'effetto della pressione sul vapore, quando questo è solo e quando è unito con l'aria, 475.
Vaporizzazione. In che consiste, 209. In che differisce dall' evaporazione, *ibid.*
Velocità, M. 57. Sue formule, M. 59.
Vento d'Est; sua spiegazione, 464 e seg. Venti. Causa generale di essi, 460. Osservazioni sulla loro velocità, 461. Loro diversità, 462. Loro utilità, 468 e 469.
Venti alisei o monsoni, 463.
Venti generali, *ibid.*
Venti irregolari, *ibid.*
Venti periodici, *ibid.*
Vescica natatoria dei pesci; suo uso, 59.
Vescichette; *Vedi* Vapori vescicolari.
Vibrazioni d' una corda o d' un campanello, *Vedi* Oscillazioni.
Vibrazioni eccitate dalla confricazione d' un arco in lastre d' una materia elastica, 547 e seg. Esperienze con lastre quadrate, 553 e seg. Esperienze con lastre circolari, 565 e seg. Mezzi usati da Savary per perfezionare gli strumenti a corda, 577 e seg.
Visione aiutata dall' arte, 1360 e seg.
Visione aiutata dagli strumenti composti di più lenti. *Vedi* Cannocchiali, Telescopii, Microscopii.
Visione aiutata da una sola lente, terminata da superficie curvilinee, *Vedi* Lenti concave.
Visione naturale, 1214 e seg. Modo con cui le immagini degli oggetti si formano nel fondo dell' occhio, 1217. Il tatto ci aiuta a giudicare delle forme, delle grandezze e delle distanze degli oggetti, 1219—1222. Perchè gli oggetti ci sembrano diritti, quantunque le loro immagini sieno rovesciate sulla retina, 1221. Perchè non vediamo gli oggetti doppii, quantunque ciascuno di essi abbia la sua immagine nell'altro occhio, 1226. Come l' impressione della distanza si combina con quella della grandezza apparente, per produrre in noi la sensazione che ci rappresenta la grandezza reale, 1222, 1225 e seg. Circostanze in cui sbagliamo nel giudicare delle grandezze, 1227. Influenza della chiarezza degli oggetti sulla valutazione della distanza, 1230. In qual modo gli oggetti che sono fra l' occhio e l'oggetto che precisamente guardiamo, ci aiutano a valutare la distanza di questo, *ibid.* Esempii dedotti da individui sui quali è stata fatta l' operazione della cataratta, i quali provano quanto l' occhio è novizio nell' arte di vedere, quando riceve la luce per la prima volta, 1231 e 1232. Inganni a cui è soggetta la vista in moltissime circostanze, 1233 e seg. *Vedi* inganni ottici.
Vite. Legge d'equilibrio per questa macchina, M. 51.
Volo degli uccelli. Mezzi con cui si eseguisce, 403.
Volume d' un corpo. In che consiste, 6.

Z

Zinco; densità della sua lega col rame maggiore della somma delle densità particolari, 22. Isolato e confricato si elettrizza vitreamente, 99.
Zinco ossidato. Acquista poli elettrici per mezzo d' un certo grado di calore, 757. La sua virtù polare sparisce a un certo grado più basso, *ibid.* In questa nuova forma essa resiste all' influenza crescente del raffreddamento nè si sa a qual punto si fermerebbe, 760.

FINE DELL' INDICE RAGIONATO, E DI TUTTA L' OPERA.

Pag.	ver.	ERRORI.	CORREZIONI.
45.	1.	forze che si agiscono	forze che agiscono
117.	15.	Macquer osservò poichè	Macquer osservò poi, che
327.	14.	R : Q	R : P
ibid.	29.	cerchiamone intanto la direzione	cerchiamo intanto la direzione della resultante

Fig. a
Fig 3
Fig. 6.
Fig. 7.
Fig. 8

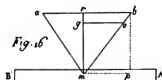
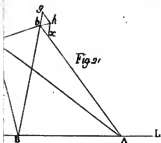
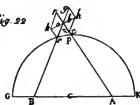



Fig. 12
Fig. 13
Fig 15
Fig. 14
Fig. 16
Fig. 21
Fig. 22
Fig. 26.

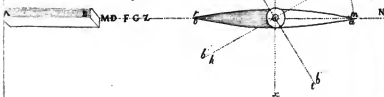



Fig. 30

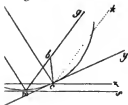



Fig. 31

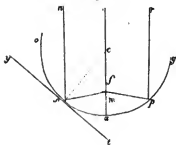



Fig. 33

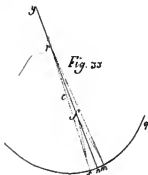



Fig. 34

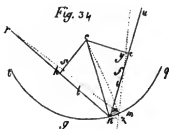



Fig. 39

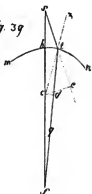



Fig 40

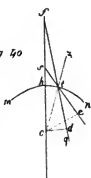
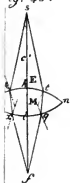
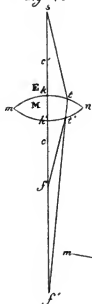
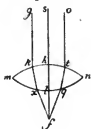



Fig. 45.
Fig. 46
Fig. 47.
Fig. 51.
Fig. 54.
Fig. 56.
Fig. 57.

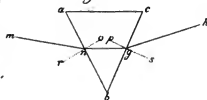
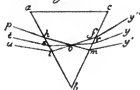
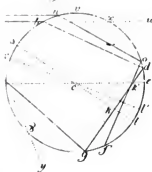
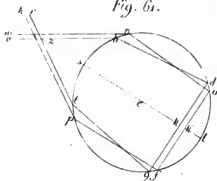



Fig. 60.
Fig. 61.
Fig. 62.
Fig. 67.
Violetto 6300
Indaco 6814
Celeste 7114
Verde 7631
Giallo 8255
Arancio 8855
9243
Rosso 10000
Fig. 63.

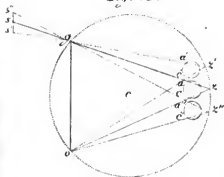
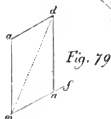
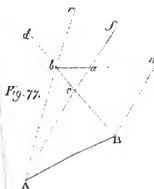
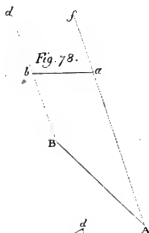
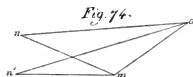
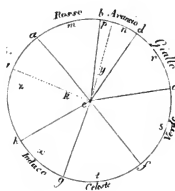
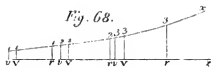
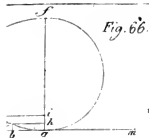
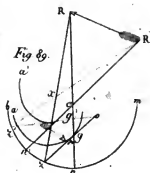
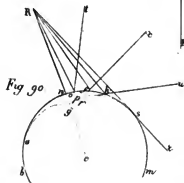
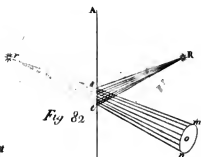
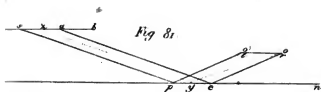
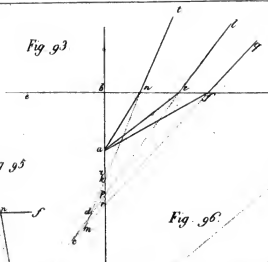
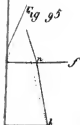
Tav. 6.

Fig. 66.
Fig. 68.
Fig. 74.
Rosso
Arancio
Giallo
Verde
Celeste
Indaco
Fig. 78.
Fig. 77.
Fig. 79

Fig 81

Fig 82

Fig 90

Fig 89

Tav 8
Fig 93
Fig 95
Fig 96
99
Fig 100
Fig 103
Fig 104

Tav. 9.

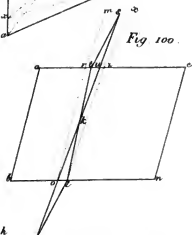
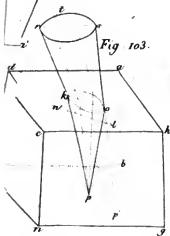
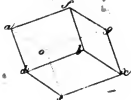



Fig. 107.

Fig 108.

Fig 109.

Fig. 113.

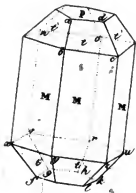



Fig. 114.

Fig. 117.

Fig. 118.

Fig. 122.
a
d
t
c
o
x
f
r
u
e
b
l
g
h
Fig. 123
h
g
r
o
k
l
n
b
a
m
Fig. 126 (bis)
Fig. 126.
F
P
O
Z
L
N
X
Y
Fig. 130.
129.
g
n
s
g
l
x
p
m
k
o

Fig. 134
Fig. 135.
Fig. 141
Fig. 142.

Fig 150

Fig 151

Fig 149

Fig 148

VI.
VII.
XII.
XIII.
XIV.
XVIII.
XIX.
XXIII.
XXIV.
XXIX.
XXX.
XXXI

Felici voi Galline, che non andate
a Scuola!

Felici voi Galline, che non andate a Scuola!